

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Trabalho de Diplomação em Engenharia de Produção

Laís Camargo Araújo
Rafael Marocco Lanini

**USO DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO PARA
ANÁLISE DE RISCOS EM PROJETO:
comparativo das distribuições probabilísticas Triangular e Beta-PERT**

Belo Horizonte
2012

Laís Camargo Araújo
Rafael Marocco Lanini

**USO DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO PARA
ANÁLISE DE RISCOS EM PROJETO:
comparativo das distribuições probabilísticas Triangular e Beta-PERT**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Maria Aparecida Fernandes Almeida

Belo Horizonte
2012

Laís Camargo Araújo
Rafael Marocco Lanini

**USO DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO PARA
ANÁLISE DE RISCOS EM PROJETO:
comparativo das distribuições probabilísticas Triangular e Beta-PERT**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Maria Aparecida Fernandes Almeida (Orientadora) - PUC Minas

Ana Clara Pereira Barbosa Santos – VALE S.A.

Mayra Alves Stradioto – PUC Minas

Belo Horizonte, 07 de Novembro de 2012

*Aos nossos pais, irmãos, familiares e amigos,
que tanto nos apoiaram para que a
concretização deste trabalho fosse possível.*

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, fica expressa a nossa gratidão e reconhecimento da fundamental importância de cada um destes nas nossas vidas, principalmente:

A Deus pelo dom da vida e a capacidade física, técnica e psicológica para percorrer os caminhos da graduação, por vezes exaustivos, mas tão fundamentais na nossa formação.

À professora Maria Aparecida Fernandes Almeida, pelo apoio desde as etapas de escolha do tema abordado até o fornecimento de material de estudo e apoio científico, além do precioso aprendizado em diversas áreas e disciplinas durante o decorrer do curso.

Aos componentes da nossa banca avaliadora do trabalho de diplomação, pela generosidade e desprendimento de tempo em estudar nosso projeto e avaliar nosso desempenho na defesa do trabalho.

Aos nossos colegas de classe, que tanto nos apoiaram e promoveram a troca de experiências tão valiosa e indispensável.

Por fim, agradecemos a todos os coparticipantes da concretização deste sonho, que promoveram a nossa formação e desenvolvimento profissional.

RESUMO

Tendo em vista que todos os projetos de alguma maneira oferecem riscos, buscando antecipar esses riscos, mitigar suas consequências e obter uma possível solução para os mesmos, as empresas têm feito uso de vários softwares de simulação que se constituem importantes ferramentas para análise dos impactos causados pelas incertezas no que tange a gerenciamento de projetos e portfólios. Embora alguns riscos não possam ser totalmente sanados, alguns podem ser controlados por meio de ações preventivas. O presente trabalho apresenta a simulação dos riscos encontrados em um projeto, que faz parte do portfólio de uma grande empresa mineradora mundial. Por meio do método Monte Carlo utilizando-se duas distribuições de probabilidade diferentes - Distribuição Triangular e Beta-PERT, os resultados são comparados com os valores determinísticos para análise do aumento de tempo no cronograma e de custo no orçamento final do projeto do estudo de caso. Ao final da simulação, as distribuições se mostraram viáveis em diferentes momentos, de acordo com a quantidade regular de dados disponíveis em cada fase do projeto simulado. O trabalho conclui que os insumos disponibilizados no projeto podem gerar maiores certezas segundo a adequação das distribuições estudadas em uma dada situação, mas não pode afirmar que uma distribuição dê um resultado maior que a outra, e sim que no caso da Beta-PERT, seu resultado ficará mais perto do valor mais provável escolhido durante a estimativa de Três Pontos. A contribuição do presente trabalho se dá na evidenciação de que no emprego do Método de Monte Carlo para a simulação dos riscos em projeto, faz-se necessário avaliar qual tipo de distribuição melhor se aplica para cada caso.

Palavras-chave: Gestão de Projeto. Análise de Risco. Método Monte Carlo.

Distribuição Triangular. Distribuição Beta-PERT.

ABSTRACT

Considering that all projects somehow pose risks, seeking to anticipate these risks, mitigate their consequences and obtain a possible solution for them, companies are using various simulation software tools that are important for the analysis of impacts caused by uncertainties, regarding the management of projects and portfolios. While some risks cannot be completely solved, some can be controlled through preventive actions. This work presents the simulation of the risks found in a project which is in the portfolio of a major global mining company. Through the Monte Carlo Method using two different probability distributions, Triangular Distribution and Beta-PERT, the results are compared with the deterministic values for an analysis of the increase of time in the schedule and cost in the project's final budget. At the end of the simulation, the distributions proved to be viable at different situations, according to the regular amount of data available in each project phase at the time it was simulated. The work concludes that the available inputs on the project may generate greater certainty according to the appropriateness of studied distributions in a specific situation, but cannot say that one distribution gives a result greater than the other, just that in the case of Beta-PERT, the result will be closer to the most likely value chosen during the Three Point Estimate. The contribution of this work is given in the disclosure that for the use of Monte Carlo for risk simulation in projects, it is necessary to evaluate first which type of distribution best applies for each case.

Keywords: Project Management. Risk Analysis. Monte Carlo Method.

Triangular Distribution. Beta-PERT Distribution.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Macroprocesso proposto pela NBR ISSO 31.000:2009	18
FIGURA 2 – Etapas da análise quantitativa de riscos.....	20
FIGURA 3 – Etapas de Simulação.....	22
FIGURA 4 – Representação esquemática de um modelo de sistema	27
FIGURA 5 – Distribuição triangular usada na simulação Monte Carlo	31
FIGURA 6 – Distribuição Beta-PERT usada na simulação Monte Carlo	33
FIGURA 7 – Comparação das curvas de distribuição para o Risco A.....	39
FIGURA 8 – Comparação das curvas de distribuição para o Risco B.....	41
FIGURA 9 – Comparação das curvas de distribuição para o Risco C.....	43
FIGURA 10 – Gráfico de distribuição Triangular	44
FIGURA 11 – Gráfico de distribuição Beta-PERT	44
FIGURA 12 – Curva de distribuição de Cronograma utilizando função Triangular	49
FIGURA 13 – Gráfico de Tornado do Cronograma utilizando a função Triangular.....	50
FIGURA 14 – Curva de distribuição de Cronograma utilizando função Beta-PERT.....	52
FIGURA 15 – Gráfico de Tornado do Cronograma utilizando a função Beta-PERT.....	53
FIGURA 16 – Curva de distribuição de Orçamento utilizando função Triangular	55
FIGURA 17 – Gráfico de Tornado do Orçamento utilizando função Triangular	57
FIGURA 18 – Curva de distribuição de Orçamento utilizando a função Beta-PERT	58
FIGURA 19 – Gráfico de Tornado do Orçamento utilizando a função Beta-PERT	60
FIGURA 20 – Cronograma: Comparação das curvas de distribuição	62
FIGURA 21 – Orçamento: Comparação das curvas de distribuição	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Fórmulas da distribuição Triangular.....	32
TABELA 2 – Fórmulas da distribuição Beta-PERT	34
TABELA 3 – Riscos simulados para a comparação entre as distribuições.....	38
TABELA 4 – Comparação dos resultados para o Risco A	38
TABELA 5 – Comparação dos resultados para o Risco B	40
TABELA 6 – Comparação dos resultados para o Risco C	42
TABELA 7 – Valores determinísticos do Projeto.....	46
TABELA 8 – Principais resultados de Cronograma utilizando função Triangular	49
TABELA 9 – Riscos impactantes no Cronograma para função Triangular	51
TABELA 10 – Principais resultados de Cronograma utilizando função Beta-PERT	52
TABELA 11 – Riscos impactantes no Cronograma para função Beta-PERT.....	54
TABELA 12 – Principais resultados de Orçamento utilizando função Triangular.....	55
TABELA 13 – Riscos impactantes no Orçamento utilizando função Triangular	56
TABELA 14 – Principais resultados de Orçamento para função Beta-PERT	59
TABELA 15 – Riscos impactantes no Orçamento para função Beta-PERT	59
TABELA 16 – Comparação entre o principais resultados de Cronograma	63
TABELA 17 – Comparação entre o principais resultados de Orçamento.....	65

LISTA DE SIGLAS

CapEx – Capital Expenditure – Capital de Investimento

ISO – International Organization for Standardization – Organização Internacional para Padronização

MMC – Método de Monte Carlo

MTPA – Milhões de Toneladas por Ano

NBR – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ONG – Organização Não Governamental

OpEx – Operational Expenditure – Capital para Operação

PDF – Função Densidade de Probabilidade

PERT – Program Evaluation and Review Technique

PMBOK – Project Management Body of Knowledge

PMI – Project Management Institute

RUP – Rational Unified Process – Processo Unificado Racional.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivo Geral	13
1.2.1 <i>Objetivos Específicos</i>	13
1.3 Problemática	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Projetos	15
2.2 Gerenciamento de Projetos.....	16
2.3 Análise de Risco em Projetos.....	17
2.4 Simulação de Sistemas	20
2.4.1 <i>Vantagens e Desvantagens da Simulação</i>	24
2.4.2 <i>Modelagem</i>	26
2.5 O Método de Monte Carlo (MMC)	27
2.5.1 <i>Monte Carlo na Gestão de Projetos</i>	29
2.5.1.1 <u><i>O que é uma Iteração?</i></u>	30
2.6 Distribuição de Probabilidade.....	30
2.6.1 <i>Distribuição Triangular</i>	31
2.6.2 <i>Distribuição Beta-PERT</i>	33
3 METODOLOGIA.....	36
3.1 Utilização do Software Primavera Risk Analysis	36
3.2 Exemplos de Utilização das Distribuições Triangular e Beta-PERT.....	37
3.2.1 <i>Simulação do Risco A</i>	38
3.2.2 <i>Simulação do Risco B</i>	40
3.2.3 <i>Simulação do Risco C</i>	42
3.2.4 <i>Distribuição Triangular versus Beta-PERT</i>	44
4 ESTUDO DE CASO	45
4.1 Projeto Verde	46
4.2 Parâmetros da Simulação	47
4.3 Resultados	47
4.3.1 <i>Resultados da Simulação para Cronograma</i>	48
4.3.1.1 <u><i>Resultados da Simulação para Cronograma - Triangular</i></u>	48
4.3.1.2 <u><i>Resultados da Simulação para Cronograma – Beta-PERT</i></u>	51
4.3.2 <i>Resultados da Simulação para Orçamento</i>	54
4.3.2.1 <u><i>Resultados da Simulação para Orçamento - Triangular</i></u>	55
4.3.2.2 <u><i>Resultados da Simulação para Orçamento – Beta-PERT</i></u>	58
4.4 Análise dos Resultados	61
5 CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS	69
ANEXO A – RISCOS ESTIMADOS PARA CRONOGRAMA DO PROJETO VERDE	72
ANEXO B – RISCOS ESTIMADOS PARA ORÇAMENTO DO PROJETO VERDE ..	74

1 INTRODUÇÃO

Todo projeto tem riscos (HAYES, 2012). É dever das grandes organizações que almejam sucesso, se prepararem para assumir esses riscos, de modo a antecipar a maior quantidade possível de situações admissíveis e assim, fornecer rápidos e confiáveis planos de resposta e de contenção para eventuais circunstâncias desfavoráveis e eventos negativos.

A preocupação por parte das empresas em utilizar técnicas bem elaboradas de Gestão de Projetos se iniciou nos anos 70 e 80, com o surgimento de projetos com maior complexidade (KERZNER, 1998). Com isso, surgiu então, a necessidade de se obter ferramentas auxiliares de gestão, ferramentas estas que sejam capazes de fornecer aos gestores, soluções fundamentais sem que o sistema real precise necessariamente sofrer qualquer tipo de interferência física, utilizando um modelo similar que imite as situações verdadeiras e que investigue a condição ideal favorável ao projeto iniciado.

O método apresentado neste trabalho, embora geral, está direcionado à análise de problemas relativos a empresas, com foco em simulação de sistemas para análise de risco e gestão de projetos. Como em geral, o tratamento analítico de modelos é muito trabalhoso, pode-se usar o método de Monte Carlo para analisar experimentalmente os efeitos conjuntos das variáveis aleatórias no sistema. Com isso, a simulação do sistema abordado a partir do método de Monte Carlo traz a possibilidade de estudar e experimentar complexas interações internas de um dado sistema na empresa e assim verificar as variações no qual o sistema está sujeito, o nível de risco atrelado a essas variações e os efeitos finais que podem ser causados no projeto.

Utilizando a simulação do sistema abordado, é possível descrever o comportamento do sistema; construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas; e finalmente usar o modelo para prever o comportamento futuro, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação.

Faz-se uso de softwares de simulação, os quais fornecem as ferramentas necessárias que possibilitam às empresas modelar riscos e analisar os impactos no custo e na programação, auxiliar no desenvolvimento e continuidade do processo, além de remover muito da incerteza do gerenciamento dos projetos mais complexos.

Desta maneira, torna-se possível avaliar a viabilidade do projeto e efetuar ajustes antes mesmo de iniciá-lo, o que acarreta em otimização de trabalho e economia de recursos, assumindo o controle necessário sobre todas as etapas que o compõe.

1.1 Justificativa

O Gerenciamento de Riscos em Projetos procura dar ares mais realistas ao mundo de incertezas e aleatoriedade dos Projetos.

Com isso, a análise quantitativa dos riscos torna-se essencial. Para tal, são usadas técnicas de simulação, como a Simulação de Monte Carlo, na qual são geradas amostras aleatórias segundo um modelo da probabilidade de um risco em termos de tempo e/ou custos.

Torna-se primordial que se conheça bem a Simulação de Monte Carlo, suas possibilidades, vantagens e limitações, de modo a fazer com que o Gerenciamento de Riscos em Projetos tenha em mãos informações suficientemente confiáveis e que possibilitem a realização de um trabalho mais qualificado, robusto, seguro e realista.

É importante ressaltar que um risco pode ser minimizado, mas mesmo que os mecanismos de mitigação sejam eficientes, de uma forma ou de outra, o risco sempre estará presente. Este é um elemento que deve ser área de preocupação de todos os que se dedicam à implementação de projetos.

Além disso, sabe-se que a Simulação de Monte Carlo quando feita de maneira mais criteriosa, pode possibilitar uma avaliação mais robusta dos resultados da Análise Quantitativa de Riscos, fornecendo os subsídios básicos que reforcem a decisão da empresa em relação à adequação e implantação do projeto junto ao seu portfólio.

Portanto, pode-se dizer que um resultado quantitativo robusto da Análise de Risco é extremamente necessário, pois é por meio dele que a alta direção da empresa se pautará para decidir sobre a viabilidade do projeto.

1.2 Objetivo Geral

Avaliar as possíveis diferenças nos resultados de uma Simulação de Monte Carlo para Análise de Riscos Quantitativa de um projeto que integra o portfólio de uma grande empresa, utilizando duas distribuições de probabilidade para a função que represente os riscos do projeto: distribuição Triangular e distribuição Beta-PERT.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Elaborar uma revisão da literatura sobre o assunto abordado;

- Estudar as possibilidades de utilização do modelo empregado em projetos de uma grande corporação;
- Coletar e tratar dados a partir de informações fornecidas pela equipe de projetos;
- Modelar o sistema, de modo a torná-lo mais próximo do modelo real de projeto;
- Executar a simulação do modelo no software;
- Gerar relatórios e informações gráficas para melhor aproveitamento visual na análise e inferência de hipóteses a partir da simulação;
- Observar e analisar os resultados obtidos, concluindo seus efeitos.

1.3 Problemática

O objeto de estudo deste trabalho é a aplicação do método de simulação para Análise Quantitativa de Riscos em projetos, utilizada por uma empresa de grande porte no setor de mineração e logística.

A empresa em questão é uma empresa brasileira privada de capital aberto e uma das maiores mineradoras do mundo. Atualmente faz uso da Simulação de Monte Carlo para obter um resultado da Análise Quantitativa de Riscos, a fim de alcançar resultados de variação de cronograma e orçamentos em seus projetos. A variação dos resultados encontrados na Análise Quantitativa é utilizada para estimar os valores de contingência para projetos e também pela alta direção da empresa para que seja feita uma avaliação da viabilidade do projeto e posterior deliberação sobre a aprovação do mesmo.

A intenção do trabalho é a de se comparar as simulações de riscos utilizando as distribuições probabilísticas Triangular e Beta-PERT para a função de cada risco, apontando vantagens e desvantagens de cada uma e, a partir da comparação, formular argumentos concretos que justifiquem e asseverem a utilização de um deles.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo será descrita a revisão da literatura utilizada no desenvolvimento do presente trabalho, objetivando assegurar embasamento teórico ao estudo de caso proposto, tendo em vista a necessidade de explorar os temas requeridos em uma análise fundamental por meio das bibliografias indicadas.

2.1 Projetos

Entendendo os aspectos competitivos do mercado, atualmente as grandes empresas preocupam-se não só com o monitoramento das atividades de seus produtos principais, mas com todos os meios envolvidos durante sua realização. Com isso, este controle começa a acontecer cada vez mais cedo nos processos da organização, assim inevitavelmente chegando ao projeto, estes, por sua vez, apresentam uma forte correlação com os investimentos que se fazem necessários para manter a organização competitiva.

Para gerenciamento de projetos existem várias abordagens que explicam as definições de projetos e suas vertentes. A abordagem mais utilizada atualmente no Brasil é a abordagem do PMI, que conceitua projeto como um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. A sua natureza temporária indica um início e um término definidos. Por definição cada projeto cria um produto, serviço ou resultado exclusivo e devido a este caráter de exclusividade pode haver incertezas quanto aos resultados gerados (PMI, 2009).

Dependendo da complexidade, os projetos são divididos em componentes mais facilmente gerenciáveis ou subprojetos, podendo estes, inclusive, serem contratados de uma empresa externa ou de outra unidade funcional da organização executora. As empresas podem também reunir os projetos que tem interfaces entre si e objetivos em comum em programas.

Outras concepções sobre projetos também são encontradas, segundo Heldman (2009) projeto é um empreendimento temporário, com datas de início e término definidas, que tem por finalidade criar um bem ou serviço único e que está concluído quando suas metas e objetivos foram alcançados e aprovados pelos *stakeholders*.

Para Vargas (2009) projeto é um empreendimento não repetitivo, caracterizado por uma sequência clara e lógica de eventos, com início, meio e fim, que se destina a atingir um

objetivo claro e definido, sendo conduzido por pessoas dentro de parâmetros predefinidos de tempo, custo, recursos envolvidos e qualidade.

2.2 Gerenciamento de Projetos

Um projeto envolve uma grande complexidade técnica, além de requerer diversidade de habilidades. Para lidar com essas características, bem como com as incertezas inerentes aos projetos, novas formas de gestão se desenvolveram e o gerenciamento de projetos é uma delas.

Este processo de gerenciamento de projetos vem sendo cada vez mais aprimorado e é definido, pelo guia PMBOK como: “[...] a aplicação de conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos” (PMI, 2009, p. 12).

Em seu guia de gerenciamento de projetos Vargas (2009) vai além e afirma que:

O gerenciamento de projetos é um conjunto de ferramentas gerenciais que permitem que a empresa desenvolva um conjunto de habilidades, incluindo conhecimento e capacidades individuais, destinados ao controle de eventos não repetitivos, únicos e complexos, dentro de um cenário de tempo, custo e qualidade predeterminados. (VARGAS, 2009, p.6)

Tendo como base os conceitos adicionados por Heldman (2009) e Vargas (2009) pode-se dizer que o gerenciamento é utilizado por pessoas para descrever, organizar e monitorar o andamento das atividades do projeto, podendo envolver ainda termos técnicos e processos, mas também funções, responsabilidades e níveis de autoridade. E que a principal vantagem do gerenciamento de projetos está no fato de que ele não ser restrito a propostas gigantescas, de alta complexidade e custo, mas poder ser aplicado em empreendimentos de qualquer magnitude.

Considerando essas definições verifica-se a importância do planejamento e a integração das tarefas e das equipes que as realizam. O gerenciamento de projetos só tem sentido quando existe um alinhamento de ideias, tarefas e procedimentos que sejam capazes de criar um padrão de modo a permitir a maturidade na gestão de projetos na organização.

O guia PMBOK (PMI, 2009) organiza os cinco grupos de processos em: iniciação, planejamento, execução, monitoramento e controle, e encerramento. A descrição detalhada das cinco etapas é dada a seguir:

- a) grupo de processos de iniciação: são os processos realizados para definir um novo projeto ou uma nova fase de um projeto existente através da obtenção de autorização para iniciar o projeto ou a fase;
- b) grupo de processos de planejamento: os processos realizados para definir o escopo do projeto, refinar os objetivos e desenvolver o curso de ação necessário para alcançar os objetivos para os quais o projeto foi criado;
- c) grupo de processos de execução: os processos realizados para executar o trabalho definido no plano de gerenciamento do projeto para satisfazer as especificações do mesmo;
- d) grupo de processos de monitoramento e controle: os processos necessários para acompanhar, revisar e regular o progresso e o desempenho do projeto, identificar todas as áreas nas quais serão necessárias mudanças no plano e iniciar as mudanças correspondentes;
- e) grupo de processos de encerramento: os processos executados para finalizar todas as atividades de todos os grupos de processos, visando encerrar formalmente o projeto ou a fase.

Contudo, atualmente diversas empresas utilizam da metodologia *Front-End-Loading* (FEL), que apresenta ao projeto uma estratégia detalhada, sequencial e contínua. Em cada uma das fases de FEL será determinado o foco e o conteúdo a ser seguido, gerando maior confiança no sucesso do empreendimento.

2.3 Análise de Risco em Projetos

O Gerenciamento de Riscos em Projetos é regido pela norma NBR ISO 31000:2009 e também pelo guia PMBOK (PMI, 2009) em seu capítulo específico para o assunto.

Segundo o guia PMBOK, risco é um evento ou uma condição incerta, se ocorrer, tem um efeito em pelo menos um objetivo do projeto ou na imagem da empresa. Os objetivos podem incluir escopo, cronograma, custos e qualidade (PMI, 2009).

Com isso pode-se dizer que riscos podem ser tanto oportunidades quanto ameaças. Podem ser uma oportunidade quando a equipe do projeto identifica que o risco em questão terá um efeito positivo e, por isso, ele pode fazer parte da estratégia do projeto. Nesse caso, a equipe do projeto assume o risco em troca do resultado. Portanto, são essenciais a

identificação e a análise dos riscos, pois podem se transformar em boas oportunidades para o projeto.

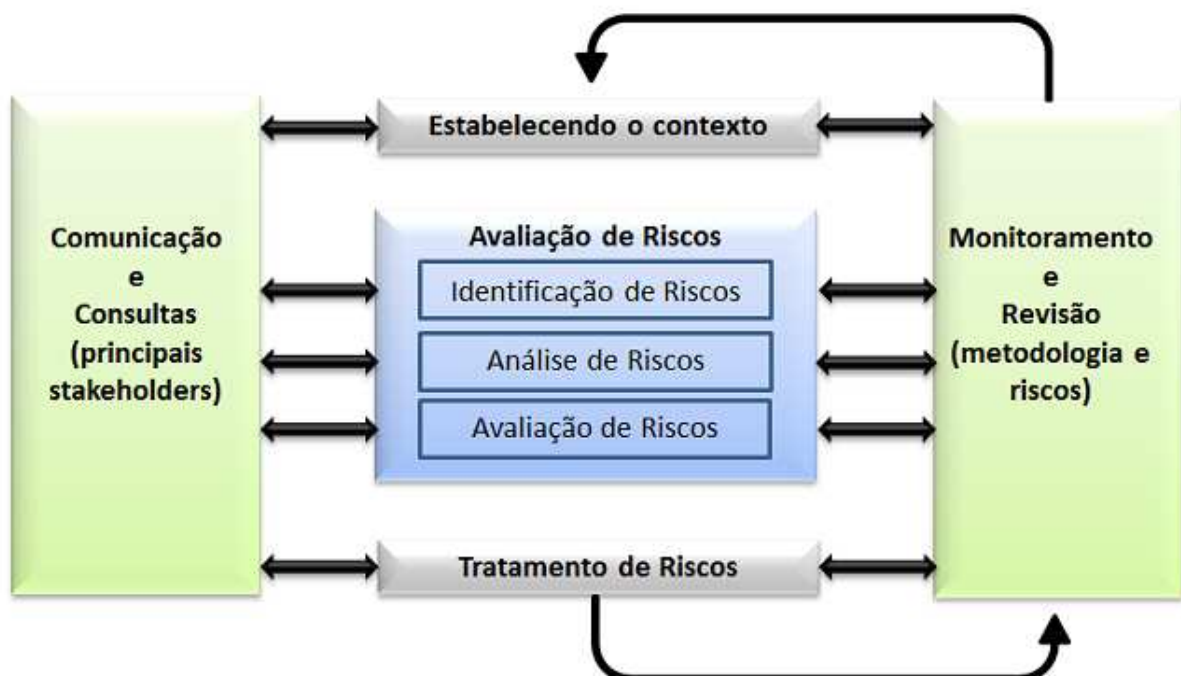
Por outro lado, os riscos são ameaças quando têm efeitos negativos sobre o projeto. Eles podem ser desvios (acarretam aumento do custo e do prazo ou redução do retorno financeiro) ou possíveis falhas fatais, cuja ocorrência resultará no término prematuro do projeto.

Gerir riscos significa identificar a probabilidade de ocorrência de um determinado evento e caso este venha ocorrer, identificar rapidamente o seu impacto sob o projeto.

Partindo desse pressuposto, a gestão de riscos permite uma análise metódica de riscos que possam acontecer, possibilitando que decisões sejam tomadas sem prejudicar o andamento e a conclusão do projeto. Além disso, a gestão de riscos constitui-se um processo eficaz em investimentos de capital para reduzir falhas de projeto, evitar fatalidades e retrabalho.

Os princípios básicos estabelecidos na norma de gestão de riscos NBR ISO 31000:2009 são descritos na Figura 1:

FIGURA 1 – Macroprocesso proposto pela NBR ISO 31.000:2009



Fonte: Adaptado NBR ISO 31.000:2009

Para o guia PMBOK (PMI, 2009), os processos da gerência de risco são:

- a) Planejamento da gerência de riscos: planejar as atividades de gerência de risco a serem realizadas para o projeto;
- b) Identificação dos riscos: identificar os riscos que podem afetar o projeto, documentando suas características;
- c) Análise qualitativa dos riscos: analisar qualitativamente os riscos, priorizando seus efeitos no projeto;
- d) Análise quantitativa dos riscos: mensurar a probabilidade de ocorrência dos riscos e suas consequências e estimar as implicações no projeto;
- e) Planejamento da resposta aos riscos: gerar procedimentos e técnicas para avaliar oportunidades, objetivando mitigar as ameaças no projeto;
- f) Monitoração e controle dos riscos: monitorar os riscos residuais, identificar novos riscos, executar os planos de mitigação de riscos e avaliar sua efetividade durante todo o ciclo de vida do projeto.

A identificação de riscos em um projeto não deve ser vista como um indicativo de que algo ruim vá acontecer, pois riscos podem possibilitar variações otimistas sobre as estimativas do projeto. Já os riscos pessimistas podem ser transformados em algo gerenciável, no qual alguma ação pode ser tomada para mudar sua forma e seu efeito por meio de uma metodologia de gestão de riscos.

Os riscos possuem diferentes formas de origem, como os quatro exemplos abaixo:

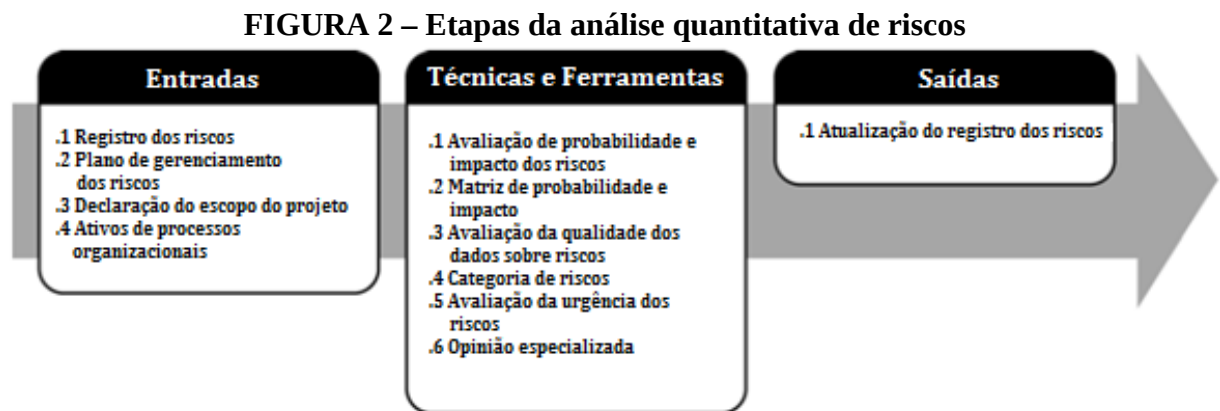
- a) Grau de singularidade – envolve tecnologia, processo, fornecedor, projetista. Por exemplo: a tecnologia citada no projeto é diferente da tecnologia que o mercado disponibiliza;
- b) Rigor das metas – prazo, CapEx¹, OpEx², segurança, qualidade, produtividade, requisitos socioambientais. Por exemplo: um projeto de construção de uma refinaria de grande porte em um prazo de um ano;
- c) Grau de definição – objetivos, conceito, escopo, arranjos, quantitativos, especificações base e métodos de estimativa, planejamento da execução, funções e responsabilidades. Quanto mais definido o projeto estiver, menor será o risco;

¹ CapEx: sigla da expressão *Capital Expenditure* (despesas de capital ou investimento em bens de capital).

² OpEx: sigla da expressão *Operational Expenditure*, (despesas de capital para manter ou melhorar os bens físicos de uma empresa).

- d) Riscos externos – riscos que envolvem, por exemplo, fatores políticos, fatores ambientais, ONG (Organização Não Governamental) e fatores socioeconômicos.

Para o guia PMBOK (PMI, 2009) realizar a análise quantitativa de riscos, conforme descrita na figura 2, é o processo de analisar numericamente o efeito dos riscos identificados nos objetivos gerais do projeto.



Fonte: Adaptado de PMI, 2009

Na etapa de análise quantitativa dos riscos, diversas técnicas podem ser utilizadas, das quais as mais conhecidas são a Árvore de Decisão e a Simulação com o Método de Monte Carlo. Softwares de simulação são empregados na análise de riscos combinados a diferentes técnicas, o que torna sua utilização e interpretação de resultados bastante amigável dentro da simulação de sistemas.

2.4 Simulação de Sistemas

Por definição, Schmidt e Taylor afirmam que um sistema corresponde a “um conjunto de objetos, como pessoas ou máquinas, por exemplo, que atuam e interagem com a intenção de alcançar um objetivo ou um propósito lógico” (Taylor e Schmidt, 1970), ou seja, um sistema nada mais é que um conjunto de dados inter-relacionados que interagem no desempenho de uma função. Em paralelo, sistemas são comumente utilizados para executar modelos matemáticos para simulação, que podem gerar melhor compreensão do processo abordado e finalmente, atingir os objetivos de forma mais segura, tendo minimizado os riscos, mantendo controle global do processo.

De posse destas informações, com a finalidade de elucidar o conceito de simulação de sistemas, são relacionadas algumas abordagens de autores que discorrem sobre o tema. Taylor e Shannon afirmam que:

Simulação é o processo de desenvolvimento de um modelo de um sistema real, e a condução de experimentos nesse modelo, com o propósito de entender o comportamento do sistema e/ou avaliar várias estratégias (com os limites impostos por um critério ou conjunto de critérios) para a operação do sistema. (SHANNON, 1975, p.123).

Prado (1999, p.93) apresentou um conceito que é muito utilizado nos dias atuais: “Simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital” (PRADO, 1999).

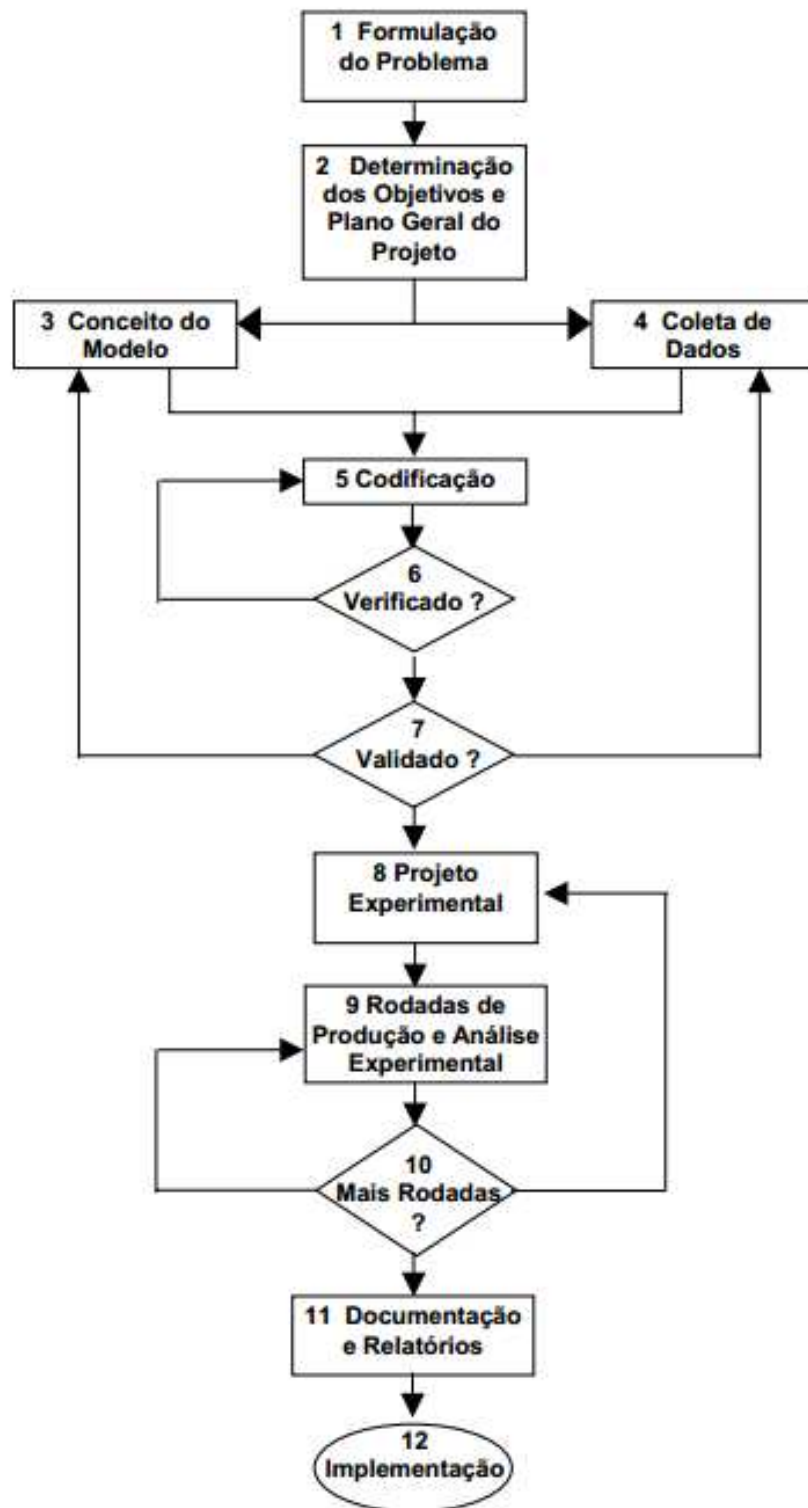
Gordon (1969, p.17) também apresenta um conceito para simulação, como sendo “a técnica de solucionar problemas observando o desempenho no tempo de um modelo dinâmico do sistema” (GORDON, 1969). Portanto, de acordo com o entendimento sobre simulação de sistemas e as definições acima mencionadas, pode-se concluir que a simulação tem como desígnio fundamental, permitir a realização de uma série de experimentos em um modelo pela alteração de suas variáveis críticas, o que viabiliza a tomada de decisão e a escolha de uma alternativa de ação por meio da análise dos resultados encontrados com a aplicação da técnica conveniente em situações particulares.

Desta forma, o analista do modelo é capaz de construir teorias e hipóteses considerando parâmetros equivalentes e entendendo as observações efetuadas; além de realizar estudos sobre os correspondentes sistemas para responder questões que remetam à facilidade de compreensão e aceitação dos resultados. Estes estudos geram benefícios que podem ser mencionados, como por exemplo, a visualização otimizada e facilitada dos sistemas que podem fazer uso de soluções gráficas, animações, e tabelas comparativas, conferindo melhor atribuição de significado aos resultados encontrados, facilitando também a tomada de decisão a respeito do projeto em questão.

Existe ainda a questão da economia de tempo e recursos financeiros. Utilizando a simulação de sistemas, é possível atingir melhores níveis de produtividade, qualidade, economia de capital e até mesmo eliminação dos desperdícios, uma vez que a percepção de que o comportamento do modelo simulado é muito semelhante ao do sistema real, o mesmo pode prever inconsistências que inviabilizem a implantação ou prosseguimento do projeto.

Para se implantar simulação de sistemas, Banks (1999) propõe as etapas descritas na figura 3, como forma viável de se estruturar o estudo, com grandes chances de sucesso na análise dos resultados finais previstos.

FIGURA 3 – Etapas de Simulação



Fonte: Banks, 1999

As etapas de simulação, desmembradas a partir do modelo adotado por Banks (1999), sugerem as seguintes fases:

1. formulação do problema: todos os estudos em simulação se iniciam com a descrição do problema. É importante que tanto os usuários quanto o analista entendam e concordem com a formulação do problema;
2. determinação dos objetivos e plano geral do projeto: os objetivos indicam as questões que devem ser respondidas pela simulação. Um plano de projeto com cronograma, recursos envolvidos e custos alocados também deve ser elaborado envolvendo a descrição dos cenários investigados;
3. conceitualização do modelo: a construção de um modelo conceitual está relacionada mais à arte do que à ciência. É recomendável iniciar com um modelo simples e ir aumentando sua complexidade gradativamente;
4. coleta de dados: durante a construção do modelo se faz necessário o levantamento de dados de processo, de forma a facilitar ou mesmo permitir uma aproximação ao sistema real; quanto mais complexo for o sistema em modelagem, maior será esta inter-relação entre a construção do modelo e o levantamento de dados; os dados a serem levantados, definidos inicialmente nos objetivos do projeto, serão mais bem identificados durante a construção do modelo;
5. codificação / implementação computacional: nesta etapa o modelo conceitual é executado em um microcomputador através de um software. O analista deve decidir se irá desenvolver um programa específico ou utilizar pacotes de simulação;
6. verificação do modelo: consiste na comparação do modelo computadorizado com o modelo conceitual para se determinar se o que foi programado corresponde ao que foi planejado;
7. validação do modelo: corresponde a avaliar se o modelo elaborado é uma representação precisa do sistema real. A validação é geralmente obtida pela calibragem do modelo em um processo iterativo de comparação entre o comportamento do modelo e o sistema real corrigindo-se eventuais distorções;
8. projeto experimental: para cada execução da simulação e sua posterior análise, decisões precisam ser tomadas em relação ao tempo de duração da simulação e o número de replicações para cada cenário;

9. realização e análise dos experimentos: as simulações e suas posteriores análises são realizadas com o objetivo de estabelecer medidas de desempenho para próximos cenários a serem simulados;
10. replicações extras: com base nas análises realizadas o modelador determina se outras replicações ou simulações são necessárias, assim como a utilização ou não de novos cenários, complementando as análises;
11. documentação e relatórios: documentar o programa consiste em registrar como o programa foi gerado, de forma a permitir a interpretação dos resultados e a reutilização do modelo em novos estudos; as formas como foram realizadas as análises e seus resultados, deverão ser documentadas de forma clara em relatório próprio, permitindo a tomada de decisão em relação ao sistema;
12. implementação: o sucesso da implementação depende de como as etapas anteriores foram executadas. O analista deve assumir um comportamento o mais imparcial possível frente aos resultados encontrados e às soluções apresentadas. Dá-se suporte à implementação dos resultados, de acordo com a política de implantação de cada empresa;

2.4.1 Vantagens e Desvantagens da Simulação

Baseado nos textos de Pegden (1991) e Banks (1984), o autor Freitas Filho (2008) lista uma série de vantagens e desvantagens de se executar a simulação de sistemas. De maneira resumida, observam-se como vantagens os seguintes itens:

- a) uma vez criado, um modelo pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas;
- b) a metodologia de análise utilizada pela simulação permite a avaliação de um sistema proposto, mesmo que os dados de entrada estejam, ainda, na forma de “esquemas” ou rascunhos;
- c) a simulação é, geralmente, mais fácil de aplicar do que métodos analítico;
- d) enquanto modelos analíticos requerem um número muito grande de simplificações para torná-los matematicamente tratáveis, os modelos de simulação não apresentam tais restrições;

- e) uma vez que os modelos de simulação podem ser quase tão detalhados quanto os sistemas reais, novas políticas e procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação etc., podem ser avaliados sem que o sistema real seja perturbado;
- f) hipóteses sobre como ou por que certos fenômenos acontecem podem ser testadas para confirmação;
- g) o tempo pode ser controlado. Pode ser comprimido ou expandido;
- h) pode-se compreender melhor quais variáveis são as mais importantes em relação a performance e como as mesmas interagem entre si e com os outros elementos do sistema;
- i) a identificação de “gargalos”, preocupação maior no gerenciamento operacional de inúmeros sistemas, tais como fluxos de materiais, de informações e de produtos, pode ser obtida de forma facilitada, principalmente com a ajuda visual;
- j) um estudo de simulação costuma mostrar como realmente um sistema opera, em oposição à maneira com que todos pensam que ele opera;
- k) novas situações sobre as quais se tenha pouco conhecimento e experiência, podem ser tratadas, de tal forma que se possa ter, teoricamente, alguma preparação diante de futuros eventos. A simulação é uma ferramenta especial para explorar questões do tipo: o que aconteceria se?

Para as desvantagens encontradas com o processo de simular, pode-se inferir as seguintes dificuldades:

- a) a construção de modelos requer treinamento especial. Envolve arte e, portanto, o aprendizado se dá ao longo do tempo, com a aquisição de experiência. Dois modelos de um sistema construídos por dois indivíduos competentes terão similaridades, mas dificilmente serão iguais;
- b) os resultados da simulação são, muitas vezes, de difícil interpretação. Uma vez que os modelos tentam capturar a variabilidade do sistema, é comum que existam dificuldades em determinar quando uma observação realizada durante uma execução se deve a alguma relação significativa no sistema ou a processos aleatórios construídos embutidos no modelo;
- c) a modelagem e a experimentação associadas a modelos de simulação consomem muitos recursos, principalmente tempo. A tentativa de simplificação na modelagem ou

nos experimentos objetivando economia de recursos costuma levar a resultados insatisfatórios.

Conhecendo as vantagens e limitações da simulação de sistemas, é possível direcionar o caminho do modelo e trabalhar de maneira focalizada na minimização de seus pontos fracos, de modo a possibilitar a execução de simulações robustas e que gerem resultados confiáveis.

2.4.2 Modelagem

Para iniciar a montagem do sistema a ser simulado, é necessário construir o modelo que definirá as características e variáveis a serem consideradas durante a simulação. Este processo também é conhecido como “modelagem”. Freitas Filho (2008) afirma que:

A modelagem pressupõe um processo de criação e descrição, envolvendo um determinado grau de abstração que, na maioria das vezes, acarreta numa série de simplificações sobre a organização e o funcionamento do sistema real. Usualmente, esta descrição toma a forma de relações matemáticas ou lógicas que, no seu conjunto, constituem o que se denomina de *modelos*. (FREITAS FILHO, 2008).

Entende-se que quanto maior o número de elementos considerados na construção do modelo, mais próximo este fica da realidade. Isto se deve ao fato de que um modelo é mais confiável quando aproxima o mais fidedignamente possível suas características e descrições do sistema real a ser simulado. Contudo, os principais autores do tema afirmam que é interessante saber balancear o modelo, de forma a desconsiderar os parâmetros poucos significativos, que apenas complicariam a compilação do modelo.

Freitas Filho (2008) afirma que “a maioria dos modelos de simulação é do tipo entrada-saída, isto é, são modelos interativos aos quais se fornecem dados de entrada, obtendo-se respostas específicas para estes”. Além disso, o modelo de simulação é aproveitado por diversas vezes e pode ser aplicado exaustivamente durante a experimentação, de acordo com o número de iterações estipulados no processo. A representação esquemática de um modelo de sistema a ser simulado pode ser visto na figura 4.

FIGURA 4 – Representação esquemática de um modelo de sistema

Fonte: Freitas Filho, 2008

Vários são os motivos que levam as empresas a experimentar modelos simulados. Dentre eles, pode-se citar: a inexistência do sistema real, situação esta em que a simulação pode ser usada para planejar o futuro de um possível sistema; o fato de que a experimentação com um modelo em sistema real possa ser muito onerosa e inviável para os orçamentos da empresa; ou ainda a inadequação da experimentação com um sistema real, uma vez que o planejamento de situações de emergência, por exemplo, não permitam a execução dos testes físicos no âmbito da realidade.

Por isso, existem diversas ferramentas amplamente utilizadas pelas organizações que simulam os sistemas com foco na abordagem quantitativa de riscos. Uma delas é a Simulação de Monte Carlo, que produz uma análise estatística com probabilidade de ocorrência de uma determinada situação.

2.5 O Método de Monte Carlo (MMC)

O Método Monte Carlo é uma técnica de simulação capaz de recriar o funcionamento de um sistema real dentro de um modelo teórico (PRADO, 1999). Prado (1999) ainda define o Método MC como “uma maneira de transformar um conjunto de números aleatórios em outro conjunto de números (variáveis aleatórias), com a mesma distribuição da variável considerada”.

O método surgiu oficialmente no ano de 1949 com o artigo científico “The Monte Carlo Method” de autoria dos matemáticos Nicholas Metropolis e Stanislaw Ulam (1949). Recebeu este nome³ como forma de homenagear seu tio, assíduo frequentador do Cassino de Monte Carlo no Principado de Mônaco no ano de 1944, época em que o método foi

³ Existem controvérsias sobre a história do nome Monte Carlo para o método.

fortemente utilizado como ferramenta de pesquisa para o desenvolvimento da bomba atômica no projeto Manhattan, durante a Segunda Guerra Mundial. (HAMMERSELEY, HANDSCOMB, citado por ARAÚJO, 2012).

Muito utilizado nos dias atuais em diversas áreas, como gestão de projetos, física, química, medicina, economia, engenharia, dentre outras, o método de Monte Carlo consiste em um processo de operação de modelos estatísticos de modo a lidar experimentalmente com variáveis descritas por funções probabilísticas, fazendo uso da simulação para se aproximar do valor mais provável e assim obter uma expressão matemática, chamada de função objetivo, por meio das iterações que ocorrem repetidas vezes durante a simulação.

Segundo Heizer e Render (2001):

Depois de construir uma distribuição de probabilidades cumulativas para cada variável da simulação, é preciso atribuir um conjunto de números para representar cada valor ou resultado possível. Estes são chamados de intervalo de números aleatórios, basicamente, um número aleatório é uma série de dígitos que foram selecionados por um processo totalmente aleatório – um processo em que cada número aleatório tem a mesma probabilidade de ser selecionado. (HEIZER e RENDER, 2001, p.606)

Ainda de acordo com os autores Heizer e Render (2001), pode-se simular os resultados de um experimento pela simples seleção de números aleatórios.

Como o método faz uso de números aleatórios para atribuir valores às variáveis que se deseja investigar, esses números aleatórios podem ser obtidos a partir de uma tabela com números eventuais, os quais têm iguais chances de serem escolhidos em um sorteio, ou fazendo uso de outras ferramentas, como roletas e até mesmo diretamente do computador, através de funções específicas (LUSTOSA; PONTE; DOMINAS, 2004). Ao executar experimentos (simulações) com amostragem estatística através do computador, o método de Monte Carlo fornece soluções aproximadas, para uma variedade de problemas matemáticos, sendo que sua principal vantagem quando comparado com métodos determinísticos, está na habilidade de adequar-se de forma precisa a qualquer geometria complexa. (NELSON, 1985).

Como ampla versatilidade, o MMC possui potencial para a resolução de diversos problemas, o que tem sido um dos principais motivos de sua vasta utilização em inúmeras áreas. Esta característica deve-se, principalmente, à sua estrutura facilitada que basicamente requer dois componentes em um conceito estatístico simples: a função densidade de probabilidade (pdf) e o gerador de números aleatórios.

2.5.1 Monte Carlo na Gestão de Projetos

Sabendo que o método Monte Carlo é uma forma utilizada para aproximações numéricas de funções complexas, que se fundamenta na geração de uma distribuição de probabilidade por meio de sorteio aleatório de números, cujas aproximações tendam a uma média que seria uma boa aproximação do resultado final, o método permite simular qualquer processo cujo andamento dependa de fatores aleatórios.

Ward e Chapman (1991) afirmam que o método se apresenta como uma das melhores alternativas para a abordagem dos riscos em projetos: “Indiscutivelmente, o mais conhecido e melhor estudado é o Pert (técnicas de análise estatística de ocorrência de fatos.) (...), sendo Método de Monte Carlo a favorita atualmente”. Por isso, quando utilizado na gestão de projetos, basicamente tem foco em três áreas do conhecimento: risco, custo e tempo (GALVÃO, 2005). Galvão (2005) ainda afirma que em particular, o método de Monte Carlo é uma das técnicas do processo de Análise Quantitativa de Riscos, sendo recomendada para análise de riscos de cronograma e de custos.

Nestes modelos, o tratamento analítico é muito trabalhoso, e o MMC pode ser empregado como uma excelente alternativa para analisar experimentalmente os efeitos conjuntos das variáveis aleatórias no sistema.

Demonstrando as oportunidades identificadas, Galvão (2005) afirma que o MMC:

[...] permite um tratamento probabilístico dos parâmetros do projeto para os quais existem incertezas associadas, como por exemplo, as estimativas de duração ou custos das atividades. No caso, tais estimativas passam a ser representadas por distribuições estatísticas entre um valor mínimo e máximo possível. Como resultado, o cronograma final também passa a ser representado em termos probabilísticos, o que permite a análise de diversos cenários possíveis para o projeto, com diferentes chances de ocorrência. Este tratamento quantitativo dos riscos leva a resultados mais realistas, fornecendo uma base mais sólida para a tomada de decisões. (GALVÃO, 2005, p.1).

Cada vez mais utilizada pelos gestores durante a ação de análise de risco dos projetos, a simulação pelo método de Monte Carlo deve ser vista como um instrumento de apoio ao usuário na tomada de decisões, proporcionando aos gestores do projeto uma excelente ferramenta que aliada às boas práticas de gestão, pode resultar em um planejamento mais confiável, com seguras informações sobre estimativas a serem consideradas na implantação do projeto e na credibilidade dos resultados obtidos.

Como na gestão de projetos, o método de Monte Carlo fornece uma estimativa de valor esperado e um provável erro para estimativa, que é inversamente proporcional ao número de iterações, entende-se que quanto maior o número de iterações, menor será o erro.

2.5.1.1 O que é uma Iteração?

Segundo o dicionário Aurélio, iteração é o “ato de iterar ou repetir” (FERREIRA, 2004). Por isso, nos sistemas em geral, utiliza-se das iterações para acumular os resultados encontrados a partir de várias tentativas de simulação, o que na programação acontece por meio de repetição de uma ou mais ações.

Simulando um sistema por meio de um software de análise, emprega-se uma sequência finita de operações em que o objeto de cada uma é o resultado da que a precede. Portanto, uma iteração de desenvolvimento é de certa forma uma passagem completa por todas as partes que compõem o sistema simulado. A cada passagem na sequência de disciplinas do processo, tem-se uma iteração.

Craig Larman (2004) afirma que “a realimentação e a adaptação iterativas levam ao sistema desejado”, e que a “realimentação, envolvimento do usuário e adaptação imediatos, levam a um sistema refinado que atenda, de forma mais adequada, às reais necessidades dos interessados no projeto”. As iterações devem ser planejadas para que os critérios de avaliação previamente estabelecidos sejam obedecidos sujeitando-se à capacidade do sistema, no qual a duração de uma iteração ou a quantidade de iterações varie de acordo com o tamanho e a natureza do projeto, se aproximando o máximo possível da realidade.

2.6 Distribuição de Probabilidade

Um fator importante a se considerar na montagem do modelo a ser simulado é a escolha da melhor distribuição de probabilidade para o risco a ser avaliado. Em uma análise de dados em simulação, isso fica evidenciado, pois segundo Moraes (2012), “as distribuições de probabilidade representam as incertezas em valores como a duração das atividades do cronograma e dos custos que fazem parte do projeto”. (MORAES, 2012).

Individualmente, cada risco possui diferentes parâmetros a serem analisados no emprego do método de Monte Carlo, portanto, faz-se necessário avaliar particularmente os pontos chave de criticidade dos riscos no projeto. Para subsidiar esta escolha, alguns

softwares especializados oferecem módulos que auxiliam os usuários na designação do melhor tipo de distribuição de probabilidade a ser utilizado na simulação.

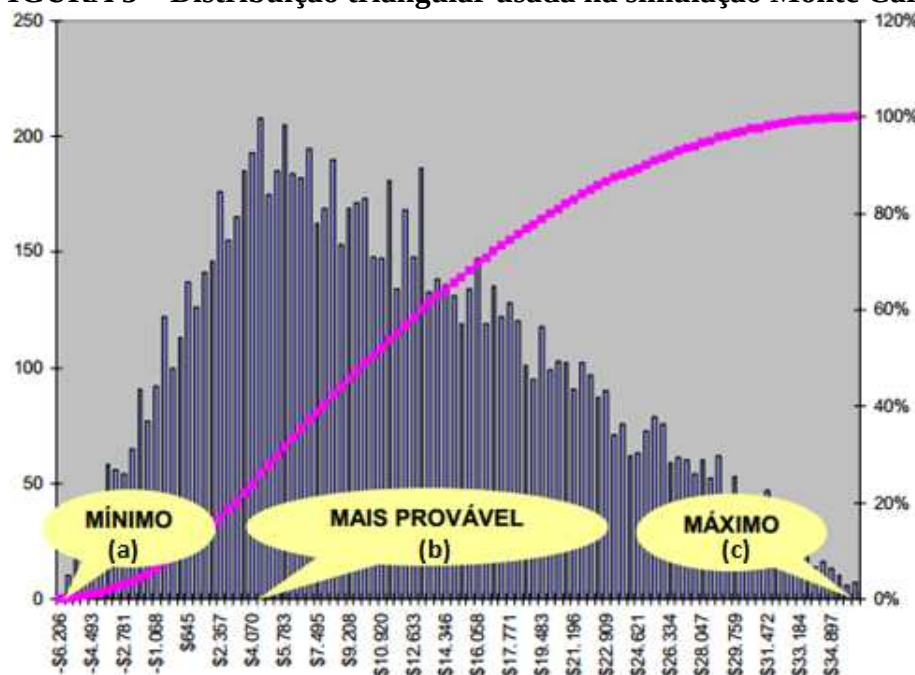
Alguns fatores podem ser levados em consideração no momento de decisão da distribuição a ser utilizada, como por exemplo, a análise dos dados históricos de projetos anteriores; entrevistas com especialistas; ou ainda a utilização de modelagens tradicionais empregando uma dada distribuição escolhida arbitrariamente.

A maioria dos modelos de simulação tradicionalmente utiliza distribuição exponencial; lognormal; gama; Beta-PERT; ou ainda a distribuição triangular, sendo esta última, utilizada preferencialmente para a simulação com o Método de Monte Carlo na análise de risco, como sendo uma distribuição simplista e facilitada.

2.6.1 Distribuição Triangular

Na simulação de Monte Carlo utiliza-se preferencialmente a distribuição triangular por se tratar de uma distribuição muito proveitosa quando existe uma ideia subjetiva da população que não oferece uma base histórica a ser consultada (como na maior parte dos casos em gestão de projetos). A distribuição triangular faz uso de três parâmetros: um valor de tempo/custo para qual o risco é mínimo (a), outro para o qual o risco é máximo (c) e um terceiro para o qual o risco é mais provável ou moda (b), conforme figura 5:

FIGURA 5 – Distribuição triangular usada na simulação Monte Carlo



Fonte: Adaptado de Fernandes, 2010

Segundo Vose, “a distribuição Triangular oferece uma flexibilidade considerável na sua forma e, juntamente com o uso da natureza intuitiva dos seus parâmetros, define a rapidez de sua utilização e fez com que esta distribuição tenha alcançado uma grande popularidade entre os analistas de risco.” (VOSE, 2007, tradução dos autores).⁴

A média, desvio padrão e função densidade de probabilidade da distribuição triangular são determinados a partir dos seus três parâmetros, conforme tabela 1:

TABELA 1 – Fórmulas da distribuição Triangular

Média = $\frac{(a+b+c)}{3}$	Desvio Padrão = $\sqrt{\frac{(a^2+b^2+c^2-ab-ac-bc)}{18}}$
------------------------------------	---

Função Densidade de Probabilidade:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(c-a)(b-a)}, & a \leq x \leq b \\ \frac{2(c-x)}{(c-a)(c-b)}, & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Exemplos de uso:

Utilizada para estimar duração de atividades quando há conhecimento dos valores máximos, mínimos e de maior ocorrência ou ainda em:

- Estimativa de Preços de produtos;
- Estimativa de Custos de fabricação.

Fonte: Elaborado pelos Autores

Apesar de ser muito utilizada quando se conhece pouco sobre o parâmetro das estimativas aproximadas, a distribuição triangular é limitada na sua capacidade de representar com melhor precisão o modelo do mundo real de estimativas, pois sua forma rigorosamente triangular pode colocar muita ênfase sobre o valor mais provável em detrimento dos outros valores contemplados no modelo de simulação, o que é compensado na distribuição Beta-PERT, que não se atem aos pontos extremos, mas descreve impactos nos pontos mais realistas, suavizando sua curva de dispersão.

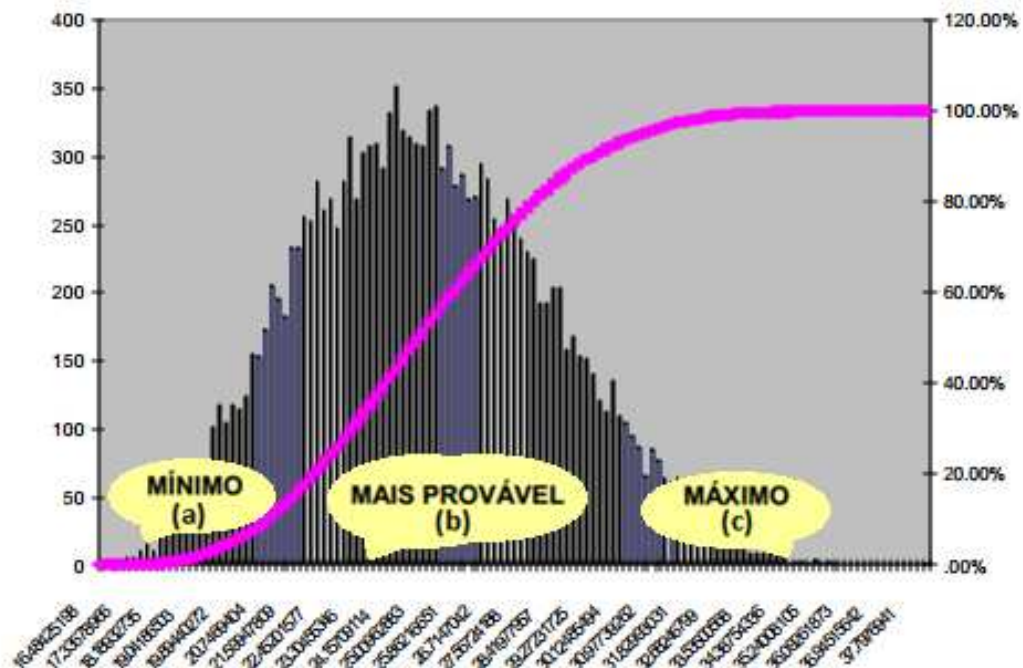
⁴ The Triangle distribution offers considerable flexibility in its shape, coupled with the intuitive nature of its defining parameters and speed of use. It has therefore achieved a great deal of popularity among risk analysts.

2.6.2 Distribuição Beta-PERT

A distribuição de Beta-PERT é também chamada de Distribuição PERT (Project Evaluation and Review Technique). Segundo Buchsbaum (2012), a Distribuição Beta-PERT é uma das distribuições mais importantes para uso prático nas empresas, porque ela é muito utilizada para gerar valores aleatórios dentro de um intervalo, na modelagem e simulação de modelos financeiros, na área de processos e análises em geral.

Assim como na distribuição Triangular, a metodologia Beta-PERT utiliza três diferentes tipos de estimativas da duração de uma atividade para determinar os parâmetros da distribuição de probabilidade: mínimo (a), máximo (c) e mais provável (b), conforme figura 6.

FIGURA 6 – Distribuição Beta-PERT usada na simulação Monte Carlo



Fonte: Adaptado de Davis, 2012

Segundo AMP, “quando usado em uma simulação de Monte Carlo, a distribuição Beta-PERT pode ser útil na identificação dos riscos em projeto e modelos de custos com base na probabilidade de cumprimento de metas e objetivos através de qualquer número de componentes do projeto.” (AMP, 2005, tradução dos autores).⁵

⁵ When used in a Monte Carlo simulation, the PERT distribution can be used to identify risks in project and cost models based on the likelihood of meeting targets and goals across any number of project components.

Ainda utilizando os parâmetros de valores mínimo (a), máximo (c) e mais provável (b), as fórmulas de média, desvio padrão e função densidade de probabilidade da distribuição Beta-PERT são determinados conforme tabela 2:

TABELA 2 – Fórmulas da distribuição Beta-PERT

Média = $\frac{a + 4 * b + c}{6}$	Desvio Padrão = $\frac{(c - a)}{6}$
--	--

Função Densidade de Probabilidade:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)}, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Onde:

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1} dt;$$

$$\alpha = \frac{(\mu - a)(2b - a - c)}{(b - \mu)(c - a)};$$

$$\beta = \frac{\alpha(c - \mu)}{(\mu - a)}, e$$

$$\mu = \frac{(a + 4b + c)}{6}$$

Exemplos de uso:

Utilizada para estimar duração de atividades quando há conhecimento dos valores máximos, mínimos e de maior ocorrência, ou ainda em:

- Estimativa de Preços de produtos;
- Estimativa de Custos de fabricação;
- Estimativa de volume de vendas;
- Estimativa preços de matérias primas.

Fonte: Elaborado pelos Autores

A fim de se obter um planejamento mais confiável, faz-se necessário considerar as incertezas sobre a duração de cada atividade. Na metodologia Beta-PERT, a duração de cada atividade é tratada como uma variável aleatória com alguma distribuição de probabilidade.

Ainda segundo AMP, “como acontece com qualquer distribuição de probabilidade, a utilidade da distribuição Beta-PERT é limitada pela qualidade de insumos: quanto melhores as estimativas dos especialistas, melhores resultados serão derivados de uma simulação.” (AMP, 2005, tradução dos autores).⁶

Na tentativa de comparar a distribuição triangular com a distribuição Beta-PERT, AMP afirma que:

Assim como a distribuição triangular, a distribuição PERT enfatiza o "mais provável" valor sobre as estimativas de mínimo e máximo. No entanto, ao contrário da distribuição triangular, a distribuição PERT constrói uma curva suave que privilegia cada vez mais os valores em torno (quase) do valor mais provável, favorecendo os valores ao redor das bordas. Na prática, isso significa que há maior "confiança" na estimativa para o valor mais provável, e mesmo que esta não seja exatamente precisa (como estimativas raramente são), espera-se que o valor resultante seja próximo à estimativa. (AMP, 2005, tradução dos autores).⁷

Esta comparação entre as distribuições de probabilidade é feita utilizando softwares apropriados que dimensionam os parâmetros de entrada na simulação computacional.

Para todas as distribuições de probabilidade faz-se necessário a utilização dos computadores como ferramenta básica para gerar os números aleatórios. Matias Jr (2008) afirma que “devido aos avanços computacionais, atualmente o número de iterações (amostragens) realizadas em uma simulação de Monte Carlo, utilizando um computador pessoal (PC), pode facilmente passar da casa de milhares de valores em poucos minutos”.

⁶ As with any probability distribution, the usefulness of the PERT distribution is limited by the quality of the inputs: the better your expert estimates, the better results you can derive from a simulation.

⁷ Like the triangular distribution, the PERT distribution emphasizes the "most likely" value over the minimum and maximum estimates. However, unlike the triangular distribution the PERT distribution constructs a smooth curve which places progressively more emphasis on values around (near) the most likely value, in favor of values around the edges. In practice, this means that we "trust" the estimate for the most likely value, and we believe that even if it is not exactly accurate (as estimates seldom are), we have an expectation that the resulting value will be close to that estimate.

3 METODOLOGIA

A iniciação do trabalho se deu por meio de pesquisa bibliográfica a partir de material constituído principalmente de livros e artigos científicos, auxiliando na melhor compreensão sobre o trabalho desenvolvido.

A pesquisa é classificada como descritiva pela manipulação direta das variáveis relacionadas com o objeto de estudo desenvolvendo-se um esboço da relação entre causa e efeitos de um determinado fenômeno: investigação da utilização das distribuições de probabilidade Triangular e Beta-PERT na análise de riscos em projeto.

Nesta pesquisa descritiva foi possível interpretar os fenômenos relacionados ao uso das duas distribuições simulando-se inicialmente três riscos hipotéticos e aplicando-se a metodologia aos dados do Projeto Verde⁸.

A pesquisa se enquadra dentro da modalidade aplicada que teve como objetivo investigar a hipótese de que as distribuições têm diferentes comportamentos sugeridos pelos modelos teóricos.

A pesquisa foi feita para análise de dados da empresa Real⁹, em seu departamento de gestão de projetos, mais especificamente pela equipe de gerenciamento de riscos, que auxiliou na coleta de dados sobre o projeto em questão. Ressalta-se que todos os dados coletados, bem como as simulações realizadas seguem os procedimentos internos da empresa.

O instrumento utilizado para simulação foi o software Primavera Risk Analysis versão 8.7. De posse das informações relevantes para a alimentação do software, foi possível estabelecer uma conexão entre as duas distribuições de probabilidade, de modo a obter resultados consistentes, que reflitam os dados de um projeto legítimo.

Como resposta à simulação, relatórios foram gerados facilitando a análise dos resultados por meio de gráficos e tabelas.

Por fim, hipóteses foram levantadas auxiliando a análise dos resultados, concluindo seus efeitos e a contribuição de sua aplicação para a equipe de projetos.

3.1 Utilização do Software Primavera Risk Analysis

Na simulação do presente trabalho, foi utilizado um software de gestão da Oracle, o Primavera Risk Analysis 8.7. Além de mensurar o risco de projetos utilizando a simulação de

⁸ Nome fictício do projeto abordado no estudo de caso.

⁹ Por motivos de sigilo, o verdadeiro nome da empresa não será divulgado.

Monte Carlo para executar a simulação destes riscos, o software faz associação com a plataforma do Microsoft Project e fornece uma solução analítica da ocorrência de riscos de programação e orçamento para os aplicativos de gerenciamento de portfólio e projeto.

Fornecendo técnicas rápidas e fáceis para determinar planos de contingência e de resposta a riscos, bem como um meio abrangente de relatar níveis de confiança do projeto, o “Primavera Risk Analysis” pesa o risco de projetos através de registros de risco e modelos de risco antes de usar a simulação Monte Carlo para analisá-los. Ele então fornece uma variedade de relatórios, como histogramas de risco, tornados e gráficos de dispersão, que possibilitam aos usuários facilmente identificar condutores de risco antes (opcionalmente) de publicar as programações ajustadas para riscos resultantes de volta na programação. (ORACLE, 2012, p.1).

Utilizando programação de custo baseada no Método Monte Carlo de distribuição de probabilidade, o Primavera Risk Analysis fornece o gerenciamento de risco do ciclo de vida completo do projeto, fazendo uso de alguns tipos de modelos de risco, como: incerteza de estimativa, existência de tarefa, ramificação probabilística, incerteza com custo fixo, incerteza com custo variável, incerteza de recurso, ramificação condicional e modelagem de clima.

O software fornece acesso por módulos, geração de relatórios e gráficos, analisadores de decisão e demais recursos para desenvolvimento da análise comparativa das distribuições Triangular e Beta-PERT proposta no trabalho.

3.2 Exemplos de Utilização das Distribuições Triangular e Beta-PERT

Conforme encontrado na revisão da literatura, as distribuições Triangular e Beta-PERT têm em comum a forma de coleta dos dados utilizados pelas empresas, denominada Estimativa de Três Pontos. Na Estimativa de Três Pontos são estimados os valores mínimos, mais prováveis e máximos para o caso do risco ocorrer. Baseado nisto, foi necessário estabelecer uma conexão entre as distribuições com parâmetros similares tornando as variáveis compatíveis a aptas para a comparação, para que finalmente fosse possível estimar os valores otimistas, mais prováveis e pessimistas de cronograma e orçamento do projeto.

A principal diferença entre as duas distribuições de probabilidade está nos valores mais prováveis de ocorrência. A distribuição triangular enfatiza consideravelmente os valores de pico, enquanto a Beta-PERT considera também os valores entre o mais provável e os extremos com maior probabilidade de ocorrência.

Um fator que auxilia no momento de definir a melhor distribuição a ser aplicada no modelo simulado é o fato de que a distribuição triangular é mais bem aceita em situações nas

quais o processo e as variáveis trabalhadas não são bem conhecidos, revelando assim um ambiente cuja população não assegure uma base histórica confiável. Já a Beta-PERT, por sua vez, é mais utilizada quando se tem a opinião de um especialista com maior detenção do conhecimento para auxiliar no prosseguimento da simulação, demonstrando maior confiança no valor provável ao longo da operação.

Para executar a demonstração prática das evidências de principais atributos e diferenças entre os dois tipos de distribuição, Triangular e Beta-PERT, executou-se uma comparação entre algumas variáveis, como média, mediana, moda e desvio padrão.

Por meio do software Primavera Risk Analysis utilizando o Método de Monte Carlo foram simulados três riscos distintos, chamados ilustrativamente¹⁰ de Risco A, Risco B e Risco C, com dez mil iterações, conforme a tabela 3:

TABELA 3 – Riscos simulados para a comparação entre as distribuições

RISCO	Valor Mínimo	Valor Mais Provável	Valor Máximo
A	50	100	200
B	50	50	200
C	50	200	200

Fonte: Elaborado pelos Autores

3.2.1 Simulação do Risco A

Na demonstração prática das características intrínsecas em cada tipo de distribuição, inicialmente foi considerado um risco - Risco A, cujo valor mínimo fosse 50, o mais provável fosse 100 e o máximo fosse 200.

A partir dos valores estipulados para a simulação do Risco A foram obtidos os resultados da tabela 4, gerando os gráficos de distribuição conforme apresentado na figura 7, que compara as duas distribuições:

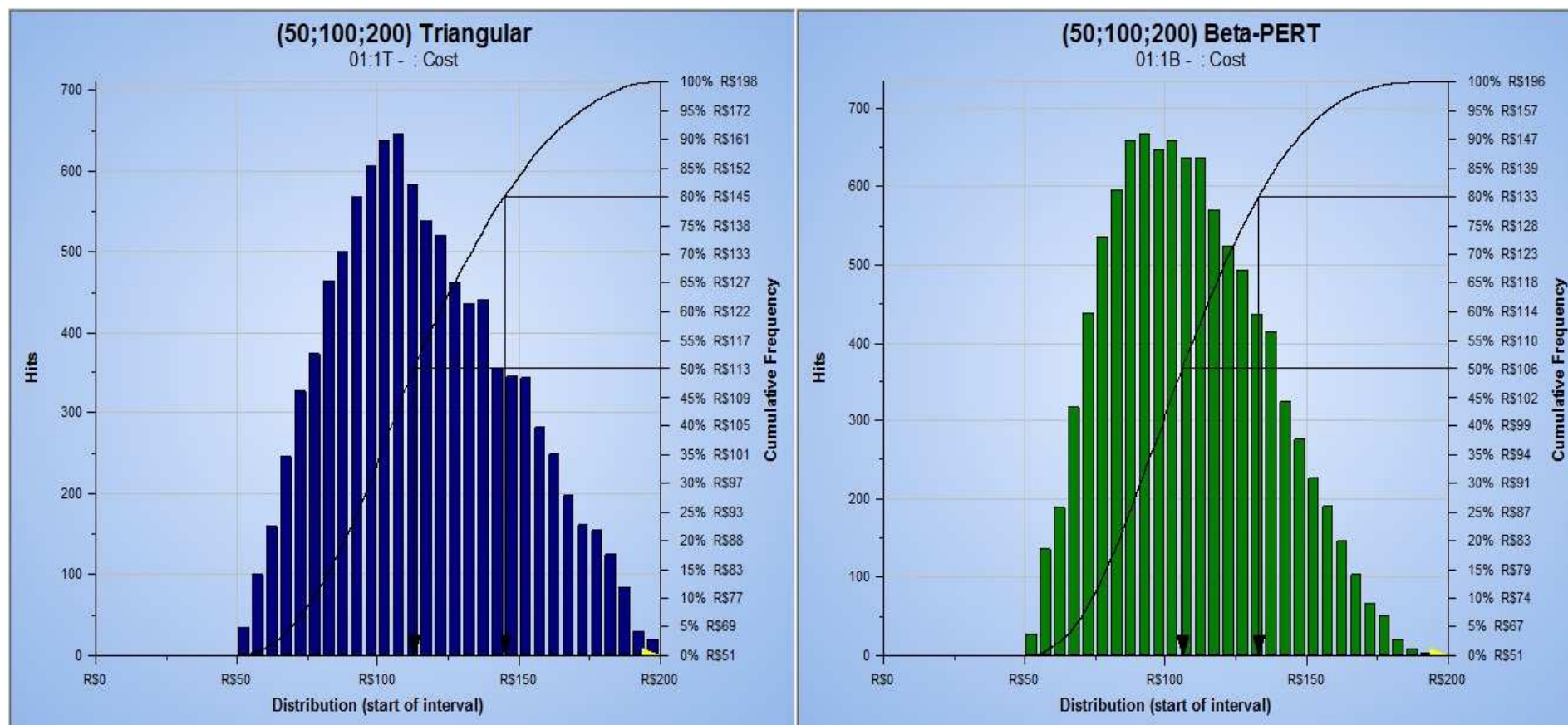
TABELA 4 – Comparação dos resultados para o Risco A

(50; 100; 200)				
	Média	Mediana	Moda	Desvio Padrão
Triangular	116,00	113,00	105,00	31,17
Beta-PERT	108,00	106,00	95,00	27,47

Fonte: Elaborado pelos Autores

¹⁰ Os dados reais da empresa foram omitidos.

FIGURA 7 – Comparação das curvas de distribuição para o Risco A



Fonte: Elaborado pelos Autores

3.2.2 Simulação do Risco B

Em segundo momento foi considerado o Risco B, cujo valor mínimo é 50, o mais provável é 50 e o máximo é 200.

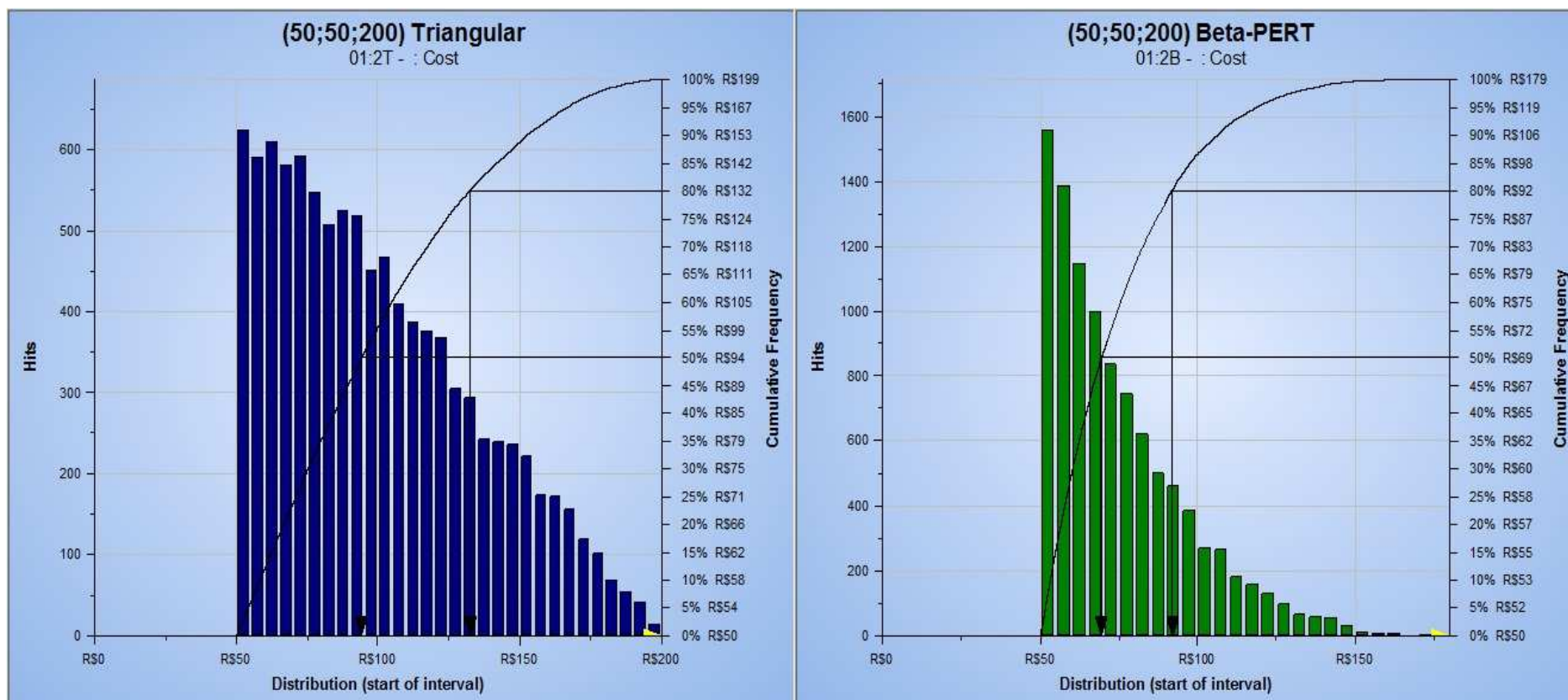
A partir dos valores estipulados para a simulação do Risco B foram obtidos os resultados da tabela 5, gerando os gráficos de distribuição conforme apresentado na figura 8:

TABELA 5 – Comparação dos resultados para o Risco B

(50; 100; 200)				
	Média	Mediana	Moda	Desvio Padrão
Triangular	100,00	94,00	55,00	35,16
Beta-PERT	75,00	69,00	55,00	21,39

Fonte: Elaborado pelos Autores

FIGURA 8 – Comparação das curvas de distribuição para o Risco B



Fonte: Elaborado pelos Autores

3.2.3 Simulação do Risco C

No terceiro caso simulado, foi considerado o Risco C, cujo valor mínimo é 50, o mais provável é 200 e o máximo é 200.

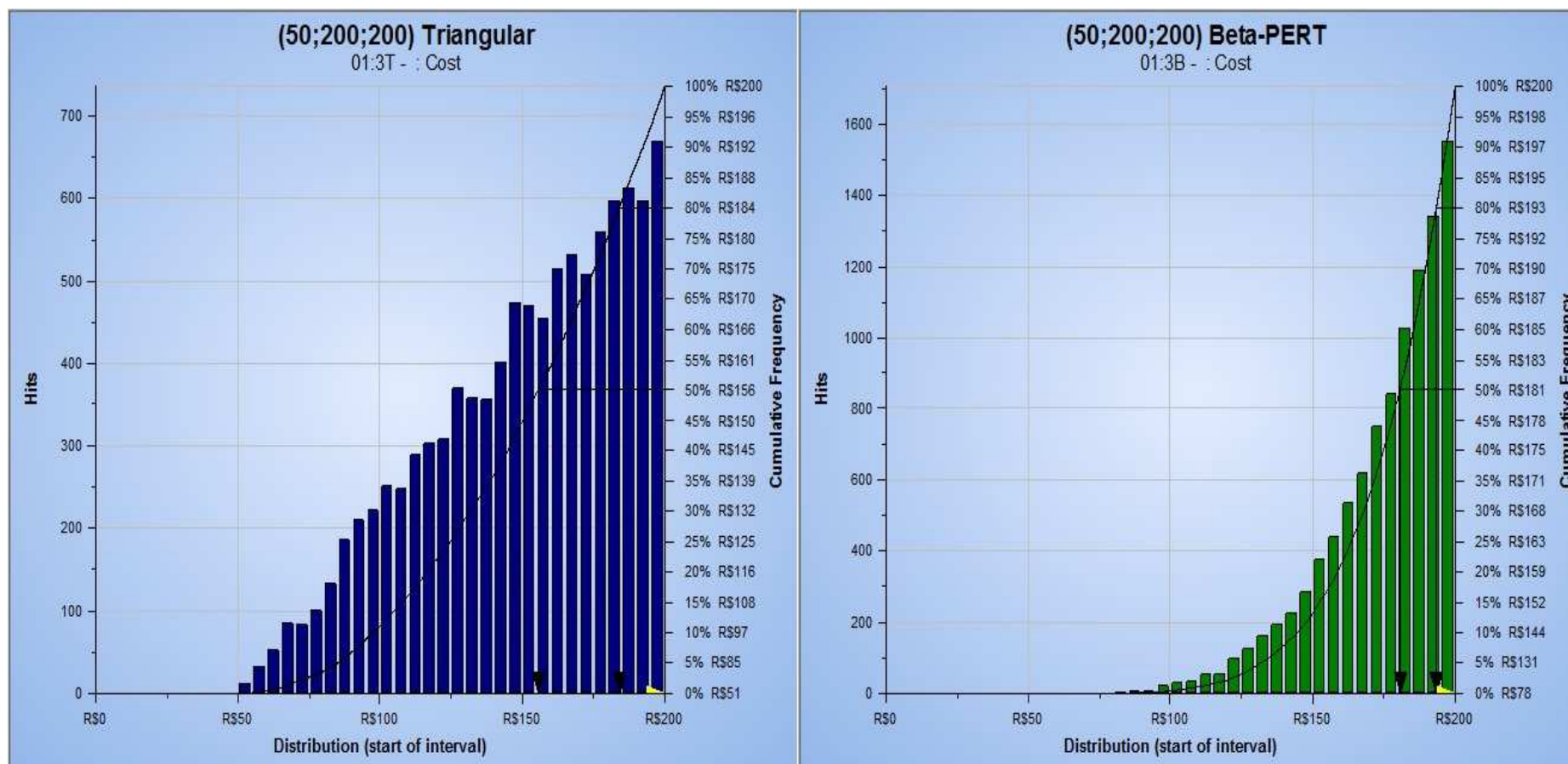
Após simulação do Risco C foram obtidos os resultados da tabela 6, gerando os gráficos de distribuição conforme apresentado na figura 9:

TABELA 6 – Comparação dos resultados para o Risco C

(50; 100; 200)				
	Média	Mediana	Moda	Desvio Padrão
Triangular	150,00	156,00	195,00	35,31
Beta-PERT	175,00	181,00	195,00	21,28

Fonte: Elaborado pelos Autores

FIGURA 9 – Comparação das curvas de distribuição para o Risco C



Fonte: Elaborado pelos Autores

3.2.4 Distribuição Triangular versus Beta-PERT

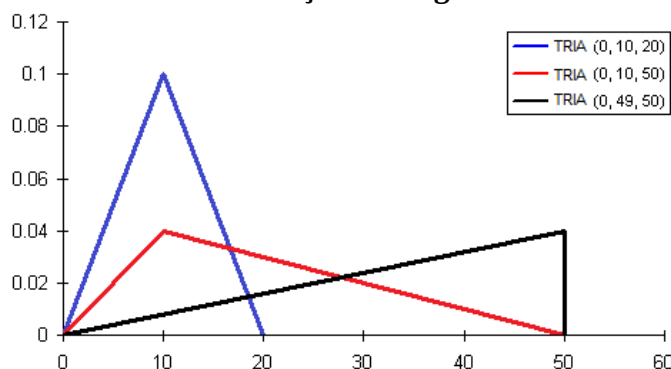
Pode se observar por meio das simulações realizadas para os três riscos hipotéticos, Risco A, Risco B e Risco C, que a distribuição Beta-PERT apresentou um desvio padrão menor que a distribuição Triangular em todos os casos, concluindo-se assim, que a distribuição Beta-PERT tem uma dispersão menor do que a Triangular e tende a concentrar os seus resultados mais próximo do ponto mais provável.

Outro indicativo de que a distribuição Beta-PERT é menos dispersa é o fato de que sua média é sempre mais próxima do valor mais provável do que a distribuição Triangular, o que não necessariamente indica que a Beta-PERT dará resultados maiores ou menores, mas entende-se que este fato vá depender basicamente da distância entre os valores dos pontos escolhidos como Menor, Mais Provável e Máximo.

Embora a distribuição PERT também utilize o valor mais provável, esta distribuição é projetada para gerar uma distribuição que mais se assemelha à distribuição de probabilidade realista. Dependendo dos valores previstos, a distribuição PERT pode fornecer um bom ajuste também para outras distribuições, como a distribuição normal ou lognormal.

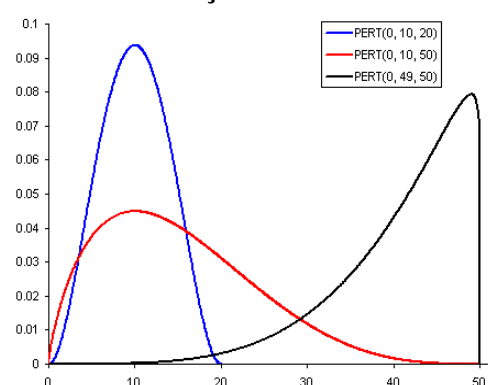
Ao fim da simulação realizada a partir dos três riscos apresentados, pode-se melhor observar o comportamento das curvas de distribuição no gráfico de resultados. Ratificando o que foi visto em literatura, a distribuição triangular enfatiza consideravelmente os valores de pico, enquanto a Beta-PERT considera também os valores entre o mais provável e os extremos com maior probabilidade de ocorrência, por isso, sua curva se mostra mais arredondada e enxuta, revelando menor dispersão dos valores encontrados, conforme pode ser percebido na comparação entre as figuras 10 e 11.

FIGURA 10 – Gráfico de distribuição Triangular



Fonte: VOSE, 2012

FIGURA 11 – Gráfico de distribuição Beta-PERT



Fonte: VOSE, 2012

4 ESTUDO DE CASO

Para exemplificação da teoria apresentada e da metodologia aplicada no presente trabalho, foram realizadas simulações em um projeto específico de riscos, utilizando o Método de Monte Carlo com o intuito de se comparar os dados obtidos quando estes ocorrem com uma distribuição Triangular e com uma distribuição Beta-PERT.

O presente estudo de caso utilizará um projeto real de uma grande empresa mineradora que, para fins de estudo, será chamado de “Projeto Verde¹¹”.

A identificação dos riscos do projeto, bem como a sua Estimativa de Três Pontos, foram feitas por profissionais qualificados que seguem rigidamente os procedimentos da empresa. Os valores otimistas, mais prováveis e pessimistas inseridos no software para execução da simulação podem ser vistos no Anexo A.

Conforme explicitado na revisão de literatura, nem sempre um risco deve ser associado a algo negativo que implicará na necessidade de um procedimento de melhoria imediata no projeto. Embora os riscos possam se tornar ameaças, por vezes, estes também podem se converter em oportunidades. No Projeto Verde foram identificadas dezenove ameaças e duas oportunidades, e o detalhamento destas ameaças e oportunidades pode ser visto também no Anexo A.

Na parte de análise dos resultados obtidos pela simulação, os gráficos analisados são os gráficos de distribuição do resultado, que mostram os resultados totais obtidos na simulação; e os gráficos de tornado, que ajudam a melhor visualizar quais riscos possuem maior impacto potencial no projeto, avaliando como a incerteza associada a cada risco afeta o objetivo do projeto que está sendo examinado.

O gráfico de distribuição dos resultados mostra os resultados obtidos na simulação na forma de uma curva de distribuição, correlacionando com a probabilidade de ocorrência. Deste gráfico de distribuição é retirado o valor denominado P80, que é o resultado obtido em 80% das iterações realizadas. Este valor é de grande importância para a empresa estudada, pois ele é acatado no momento de determinar a contingência do projeto, ou seja, o P80 auxilia na definição do valor de capital adicionado à estimativa de base do orçamento, que não está associada a nenhum item específico do projeto. Desta forma, a diferença entre o valor obtido do P80 e o valor determinístico, será o valor extra de capital disponibilizado pela empresa para a equipe do projeto utilizar no eventual caso de algum risco ocorrer.

¹¹ Por motivos de confiabilidade e sigilo empresarial, será adotado um nome fictício ao projeto.

Como o gráfico de Tornado correlaciona a importância de cada risco no resultado obtido na simulação, indicando quais são os riscos mais impactantes no projeto, este se constitui de grande importância para a gestão dos riscos no Projeto Verde, pois os riscos que aparecem neste gráfico terão prioridade na sua gestão, tanto no que diz respeito ao orçamento, quanto ao cronograma.

4.1 Projeto Verde

Tendo em vista o alto crescimento da demanda por minério de ferro no mercado internacional, uma empresa de mineração multinacional está investindo no aumento de produção deste produto.

O Projeto Verde está localizado no Brasil e é um projeto *Greenfield*, ou seja, é um projeto em fase de desenvolvimento a ser executado onde não existe atualmente uma organização empreendedora, ativo ou operação. Seu objetivo é permitir o incremento da produção de minério de ferro em 20 MTPA (Milhões de Toneladas por Ano) através da construção de uma nova planta de processamento de itabiritos.

Dentre os principais objetivos do projeto, destaca-se o cumprimento da data de *start-up* da planta nas condições operacionais estabelecidas pela engenharia, assim como o atendimento às metas estabelecidas para os indicadores de saúde e segurança.

O Projeto Verde tem os seguintes valores determinísticos, que serão trabalhados como marcos iniciais em todas as simulações realizadas neste estudo de caso, conforme tabela 7:

TABELA 7 – Valores determinísticos do Projeto

CRONOGRAMA	ORÇAMENTO
Data de Término: 20/01/2017	Orçamento Total: R\$ 845.251.620,00

Fonte: Elaborado pelos Autores

O empreendimento será composto pela implantação dos seguintes Equipamentos/Áreas:

- Britagem Primária;
- Britagem Secundária;
- Britagem Terciária e Quaternária;
- Peneiramento;
- Pátio de Homogeneização;

- Moagem / Classificação;
- Deslamagem / Flotação;
- Peneiramento de alta frequência;
- Filtragem;
- Espessadores (lamas e adensamento);
- Planta de Reagentes (amina, amido, soda e CO₂);
- Subestações para atender as novas unidades;
- Linhas de distribuição da SE principal de 230 kV até as SE's de área;
- Aquisição de empilhadeira para o pátio de homogeneização de hematita;
- Posto de combustível para caminhões fora-de-estrada;
- Casa de bombas de rejeito (CB2);
- Instalações de Apoio.

4.2 Parâmetros da Simulação

Para a realização da simulação da Análise Quantitativa de Riscos feita para o Projeto Verde, será empregado o Método de Monte Carlo e para tal, foi utilizado o software Primavera Risk Analysis 8.7 da empresa Oracle adotando as seguintes premissas:

- cada simulação com dez mil iterações;
- uma simulação de cronograma com os riscos utilizando distribuição Triangular;
- uma simulação de cronograma com os riscos utilizando distribuição Beta-PERT;
- uma simulação de orçamento com os riscos utilizando distribuição Triangular;
- uma simulação de orçamento com os riscos utilizando distribuição Beta-PERT.

Os dados de entrada no software podem ser vistos no Anexo A, que detalha os riscos de cronograma e respectivos valores máximos, mais prováveis e mínimos, e no Anexo B, que detalha os riscos de orçamento e respectivos valores máximos, mais prováveis e mínimos para o caso do risco ocorrer no projeto.

Conforme destacado na revisão da literatura, ameaça é um risco com efeito negativo para o projeto e deve ser evitada, já uma oportunidade é um risco com um efeito positivo para o projeto e deve ser capturada. No projeto em questão foram identificados vinte riscos, sendo dezoito ameaças e duas oportunidades.

4.3 Resultados

De acordo com o autor Hulett (2011), a simulação de Monte Carlo produz uma larga quantidade de exemplos de projetos dos quais um deles pode ser o projeto de um estudo de caso. Baseado neste argumento, entende-se que qualquer uma das iterações geradas pela simulação pode se constituir objeto de estudo, porque nela foi empregada os mesmos conceitos e riscos do projeto. Portanto, faz-se necessário a utilização de propriedades estatísticas nos resultados do Método Monte Carlo para que seja possível o entendimento do projeto estudado.

As dez mil iterações utilizadas no projeto em questão, garantem a produção de um histograma, chamado de gráfico de distribuição da probabilidade dos possíveis resultados encontrados no projeto.

Os dados de entrada no software podem ser vistos no Anexo A, que detalha os riscos de cronograma e respectivos valores máximos, mais prováveis e mínimos, e no Anexo B, que detalha os riscos de orçamento e respectivos valores máximos, mais prováveis e mínimos para o caso do risco ocorrer no projeto.

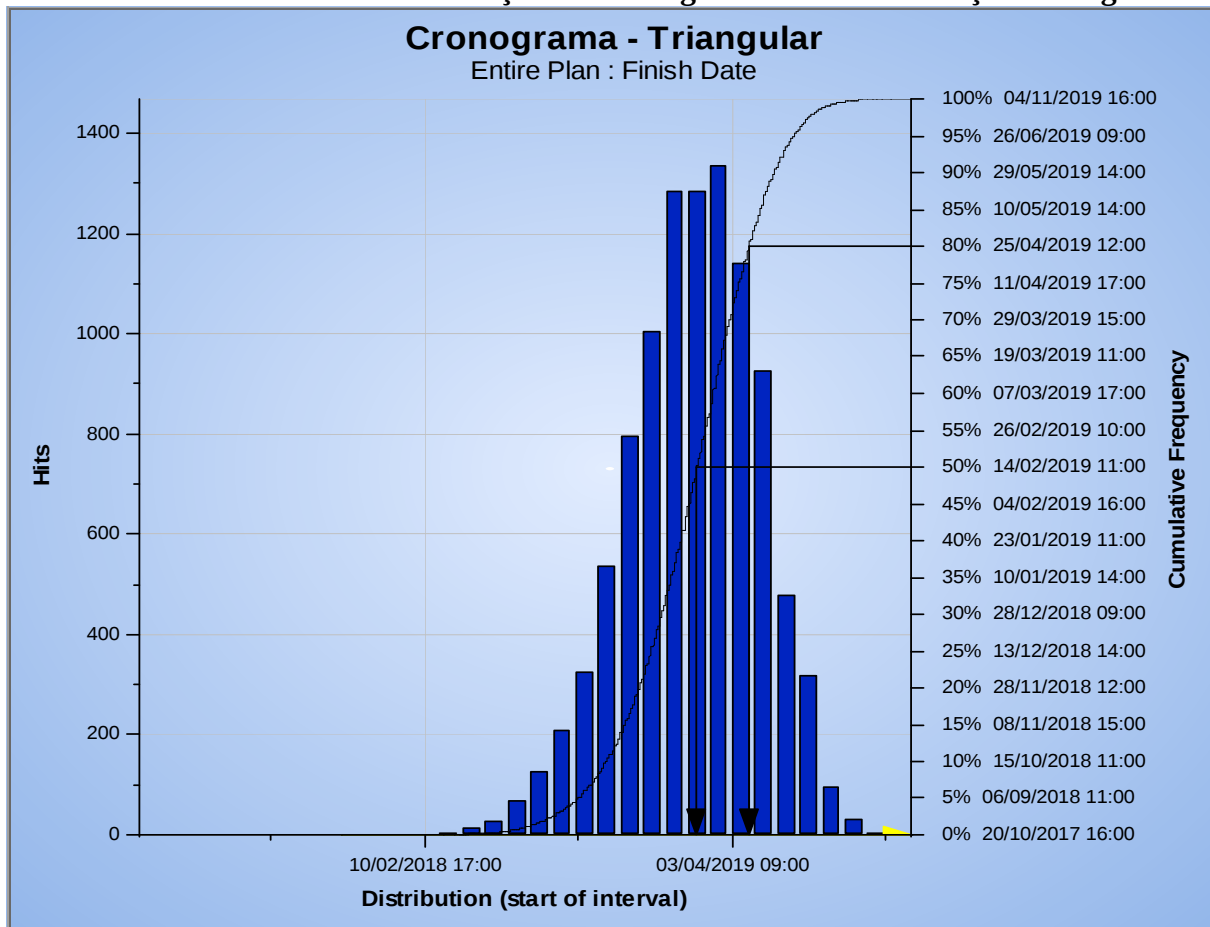
Realizando as Simulações de Monte Carlo conforme os parâmetros descritos no item 4.2, foram obtidos os resultados descritos no item 4.3.1, a seguir.

4.3.1 Resultados da Simulação para Cronograma

Nas seções 4.3.1.1 e 4.3.1.2 serão apresentados os resultados obtidos a partir da simulação de cronograma utilizando as distribuições Triangular e Beta-PERT, nos quais foi possível utilizar gráficos de distribuição e de tornado para melhor aproveitamento visual na análise comparativa entre as duas distribuições.

4.3.1.1 Resultados da Simulação para Cronograma - Triangular

Utilizando os dados descritos no Anexo A, que alimentam o software no momento da simulação definindo os valores otimistas, mais prováveis e pessimistas para cada risco a que o projeto está sujeito, na simulação realizada para o cronograma do projeto utilizando a distribuição Triangular, o gráfico de distribuição gerou os resultados exibidos na figura 12 e detalhados na tabela 8:

FIGURA 12 – Curva de distribuição de Cronograma utilizando função Triangular

Fonte: Elaborado pelos Autores

TABELA 8 – Principais resultados de Cronograma utilizando função Triangular

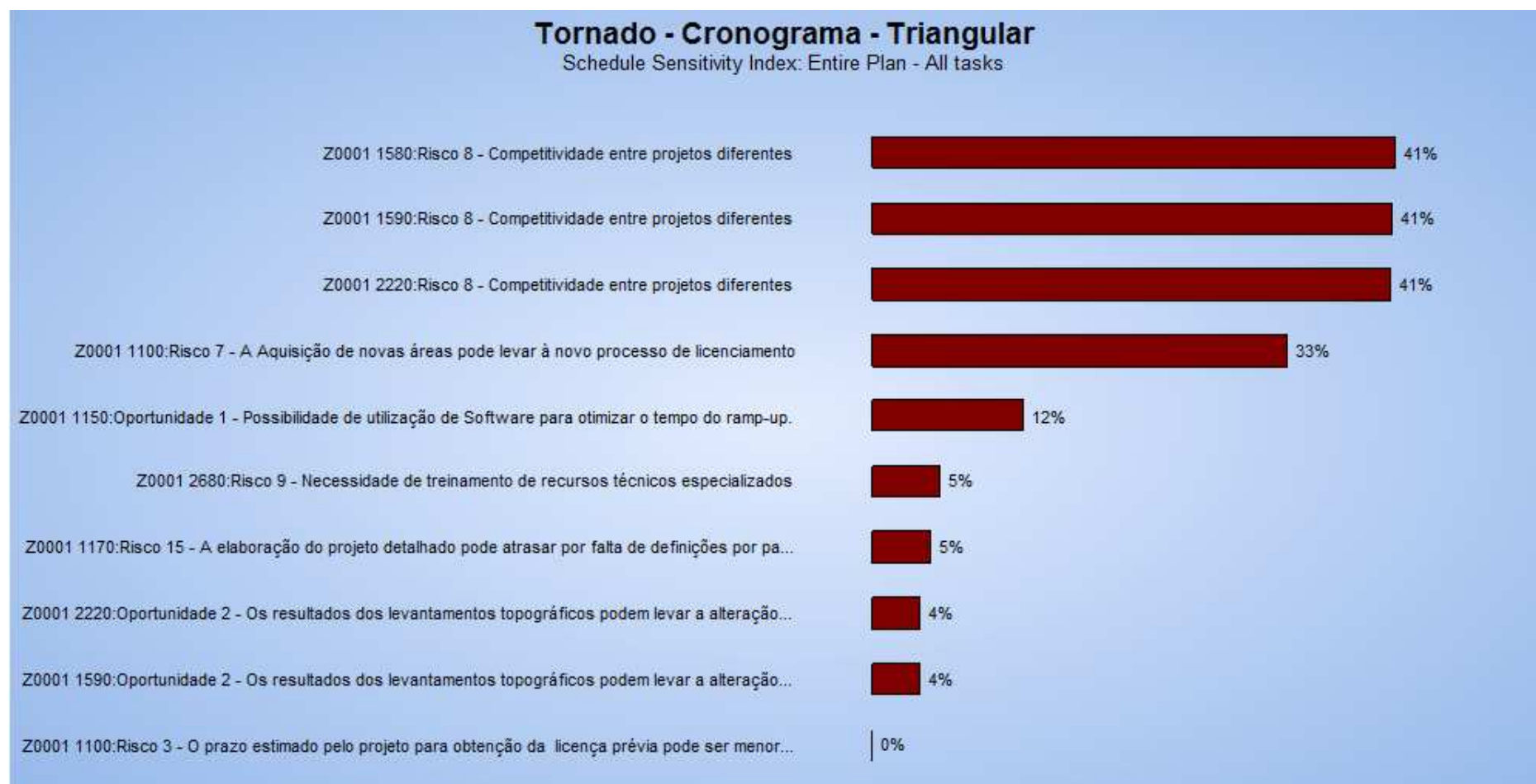
Frequência Acumulada	Data de Término Triangular
0%	20/10/2017
50%	14/02/2019
80%	25/04/2019
100%	04/11/2019

Fonte: Elaborado pelos Autores

Conforme descrito anteriormente na seção 4.1 que informa os parâmetros do projeto, o Projeto Verde tem hoje como valor determinístico de cronograma, a data de 20/01/2017 para o término do projeto. Assim é possível observar na tabela 8 que a menor data para o término do projeto é dia 20/10/2017, o que daria um atraso de aproximadamente nove meses. Já o valor de P80 obtido na simulação utilizando distribuição triangular é a data de 25/04/2019, dando um atraso de aproximadamente vinte e sete meses no término do projeto.

Na análise individual do gráfico de Tornado para a simulação de Cronograma, o resultado obtido para a distribuição Triangular pode ser visto na figura 13 e tabela 9:

FIGURA 13 – Gráfico de Tornado do Cronograma utilizando a função Triangular



Fonte: Elaborado pelos Autores

TABELA 9 – Riscos impactantes no Cronograma para função Triangular

Principais riscos que impactam os resultados de Cronograma - Triangular			
Atividade Impactada	Código do Risco	Descrição do Risco	Correlação (%)
Z0001 2220	Risco 8	Competitividade entre projetos diferentes	40,60
Z0001 1100	Risco 7	A Aquisição de novas áreas pode levar à novo processo de licenciamento	32,60
Z0001 1150	Oportunidade 1	Possibilidade de utilização de Software para otimizar o tempo do ramp-up.	11,94
Z0001 2680	Risco 9	Necessidade de treinamento de recursos técnicos especializados	5,49
Z0001 1170	Risco 15	A elaboração do projeto detalhado pode atrasar por falta de definições por parte da contratante.	4,74
Z0001 2220	Oportunidade 2	Os resultados dos levantamentos topográficos podem levar a alteração nos quantitativos de terraplanagem previstos	3,87
Z0001 1100	Risco 3	O prazo estimado pelo projeto para obtenção da licença prévia pode ser menor que o prazo legal.	0,22

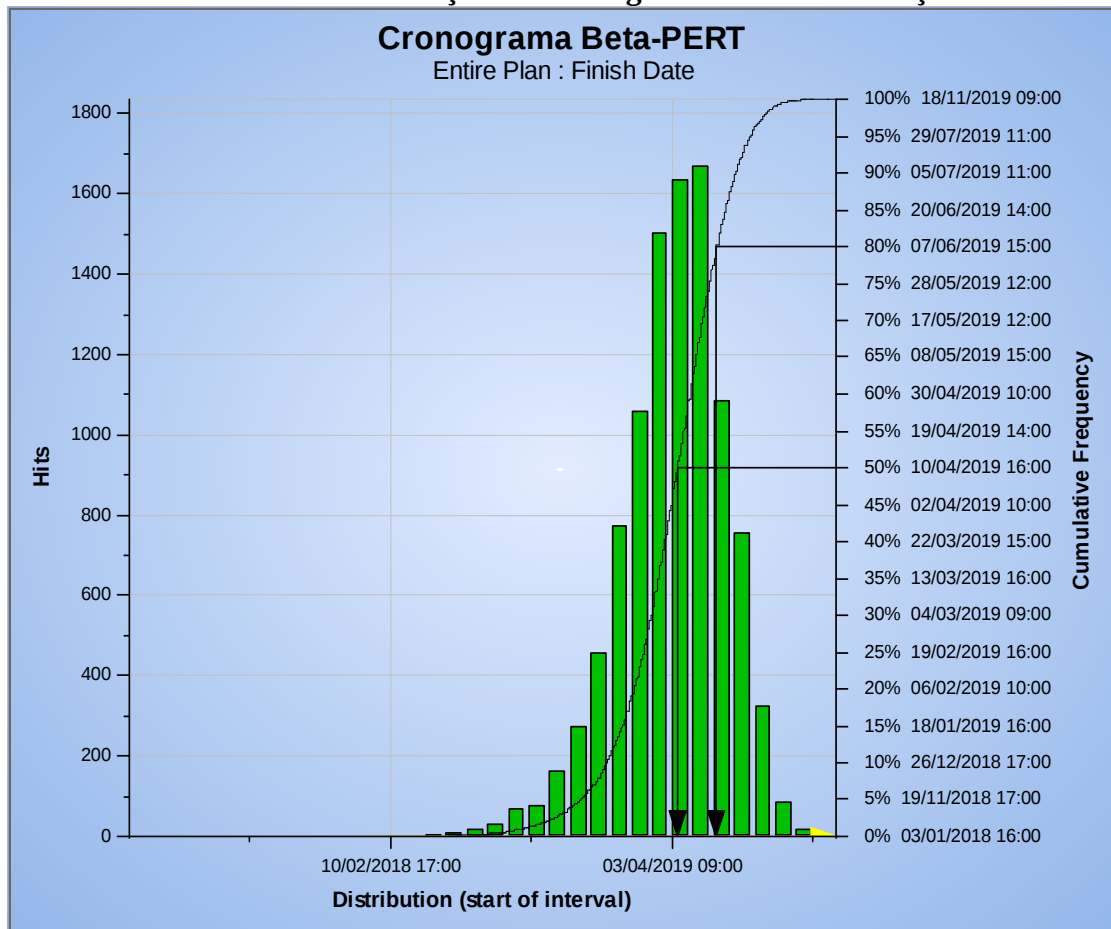
Fonte: Elaborado pelos Autores

No gráfico da figura 13 pode-se observar que o risco que mais influencia o resultado obtido é o Risco 8, Competitividade entre projetos diferentes, com um total de aproximadamente 41%. Na tabela 9, as oportunidades e os riscos são mais bem detalhados, informando a correlação percentual destes riscos no projeto, ou seja, o tanto que estes fatores influenciam nos resultados de atraso no cronograma do projeto. Também é possível conhecer qual a atividade mais impactada no projeto caso estes riscos/oportunidades ocorram. As atividades¹² são codificadas segundo especificação interna da empresa.

4.3.1.2 Resultados da Simulação para Cronograma – Beta-PERT

Utilizando os dados descritos no Anexo A, que alimentam o software no momento da simulação, definindo os valores otimistas, mais prováveis e pessimistas para cada risco a que o projeto está sujeito, na simulação realizada para o cronograma do projeto utilizando a distribuição Beta-PERT, o gráfico de distribuição de resultados revelou a curva de distribuição de cronograma, conforme figura 14 e tabela 10:

¹² As atividades e seus respectivos códigos serão preservados por motivo de sigilo empresarial.

FIGURA 14 – Curva de distribuição de Cronograma utilizando função Beta-PERT

Fonte: Autores, 2012

TABELA 10 – Principais resultados de Cronograma utilizando função Beta-PERT

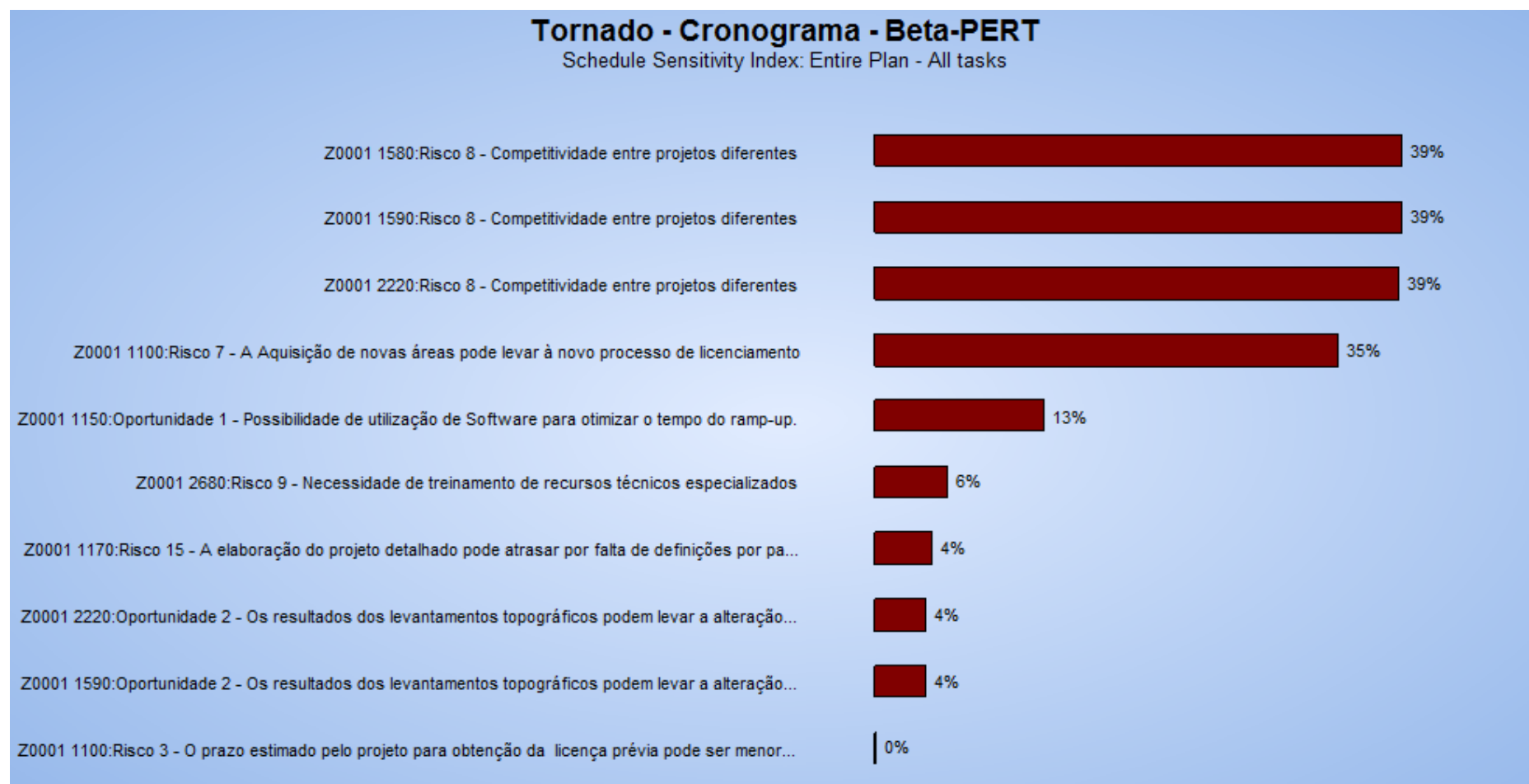
Frequência Acumulada	Data de Término Beta-PERT
0%	03/01/2018
50%	10/04/2019
80%	07/06/2019
100%	18/11/2019

Fonte: Elaborado pelos Autores

O gráfico da figura 14 mostrou os valores encontrados para cada percentual de contingência e, conforme principais resultados detalhados na tabela 10, pode-se observar que a menor data para o término do projeto é dia 03/01/2018, o que daria um atraso de aproximadamente doze meses no projeto. Já o valor de P80 obtido na simulação utilizando distribuição Beta-PERT é a data de 07/06/2019, dando um atraso de aproximadamente vinte e nove meses comparado à data determinística de término, 20/01/2017.

Na análise individual do gráfico de Tornado para a simulação de Cronograma, o resultado obtido para a distribuição Beta-PERT pode ser visto na figura 15 e tabela 11:

FIGURA 15 – Gráfico de Tornado do Cronograma utilizando a função Beta-PERT



Fonte: Elaborado pelos Autores

TABELA 11 – Riscos impactantes no Cronograma para função Beta-PERT

Principais riscos que impactam os resultados de Cronograma - Beta-PERT			
Atividade Impactada	Código do Risco	Descrição do Risco	Correlação (%)
Z0001 1580	Risco 8	Competitividade entre projetos diferentes	39,09
Z0001 1100	Risco 7	A Aquisição de novas áreas pode levar à novo processo de licenciamento	34,63
Z0001 1150	Oportunidade 1	Possibilidade de utilização de Software para otimizar o tempo do ramp-up.	12,70
Z0001 2680	Risco 9	Necessidade de treinamento de recursos técnicos especializados	5,56
Z0001 1170	Risco 15	A elaboração do projeto detalhado pode atrasar por falta de definições por parte da contratante.	4,39
Z0001 1590	Oportunidade 2	Os resultados dos levantamentos topográficos podem levar a alteração nos quantitativos de terraplanagem previstos	4,01
Z0001 1100	Risco 3	O prazo estimado pelo projeto para obtenção da licença prévia pode ser menor que o prazo legal.	0,22

Fonte: Elaborado pelos Autores

No gráfico da figura 15 pode-se observar que o risco que mais influencia o resultado obtido também é o Risco 8, Competitividade entre projetos diferentes, com um total de aproximadamente 39%. Na tabela 11, as oportunidades e os riscos são mais bem detalhados informando a correlação percentual destes fatores no projeto, ou seja, o tanto que este risco/oportunidade influencia nos resultados de atraso no cronograma do projeto. Além disso, também é possível conhecer qual a atividade mais impactada no projeto caso este risco ou oportunidade ocorra. As atividades são codificadas segundo especificação interna da empresa.

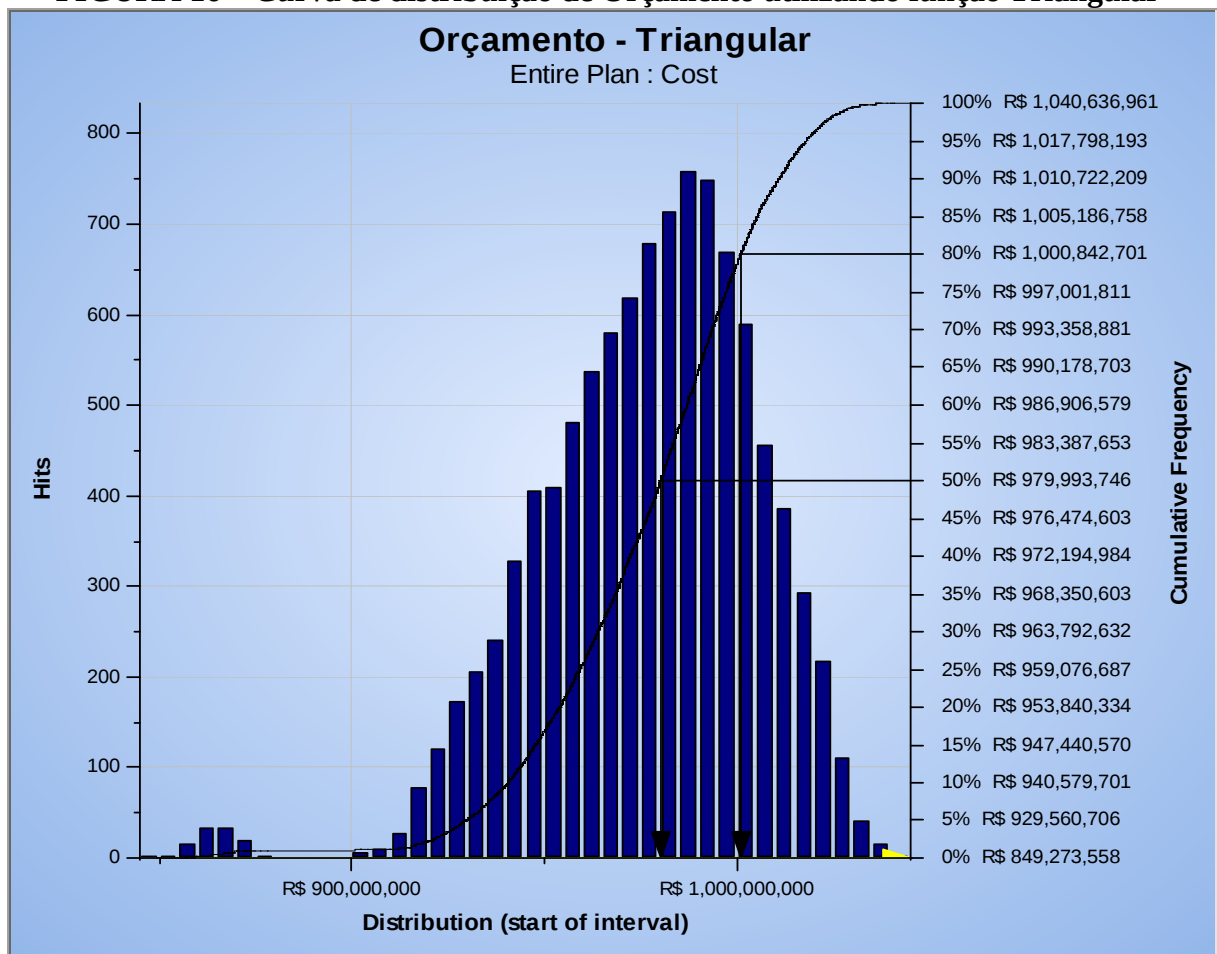
4.3.2 Resultados da Simulação para Orçamento

Nas seções 4.3.2.1 e 4.3.2.2 serão apresentados os resultados obtidos a partir da simulação de orçamento utilizando as distribuições Triangular e Beta-PERT, nos quais foi possível utilizar gráficos de distribuição e de tornado para melhor aproveitamento visual na análise comparativa entre as duas distribuições.

4.3.2.1 Resultados da Simulação para Orçamento - Triangular

Utilizando os dados descritos no Anexo B, que alimentam o software no momento da simulação definindo os valores otimistas, mais prováveis e pessimistas para cada risco a que o projeto está sujeito, na simulação realizada para o orçamento do projeto utilizando a distribuição Triangular, o gráfico de distribuição gerou os resultados exibidos na figura 16 e detalhados na tabela 12:

FIGURA 16 – Curva de distribuição de Orçamento utilizando função Triangular



Fonte: Elaborado pelos Autores

TABELA 12 – Principais resultados de Orçamento utilizando função Triangular

Frequência Acumulada	Orçamento Triangular
0%	R\$ 849.273.558,00
50%	R\$ 979.993.746,00
80%	R\$ 1.000.842.701,00
100%	R\$ 1.040.636.961,00

Fonte: Elaborado pelos Autores

No gráfico apresentado na figura 16, em especial, alguns valores foram encontrados entre os custos de R\$ 850.000,00 e R\$ 900.000,00, conforme pode ser visto nas primeiras barras exibidas, seguidas de um intervalo sem ocorrência de valores, e finalmente mostrando os custos superiores ao valor de R\$900.000,00. Este fato ocorre em função da estimativa de oportunidades a que o projeto está sujeito, portanto, estas oportunidades são captadas durante a simulação e exibem a possibilidade de ocorrência podendo minimizar os impactos das ameaças que causam acréscimo de custo durante as iterações.

Conforme informado anteriormente na seção 4.1, o Projeto Verde tem hoje como valor determinístico para seu orçamento, o valor de R\$ 845.251.620,00. Assim é possível observar na tabela 12 que o menor valor para o orçamento do projeto é R\$ 849.273.558, o que daria um montante a mais de R\$ R\$ 4.021.938. Já o valor de P80 obtido é o valor de R\$ 1.000.842.701, dando um montante a mais de R\$ 155.591.081 no orçamento do projeto.

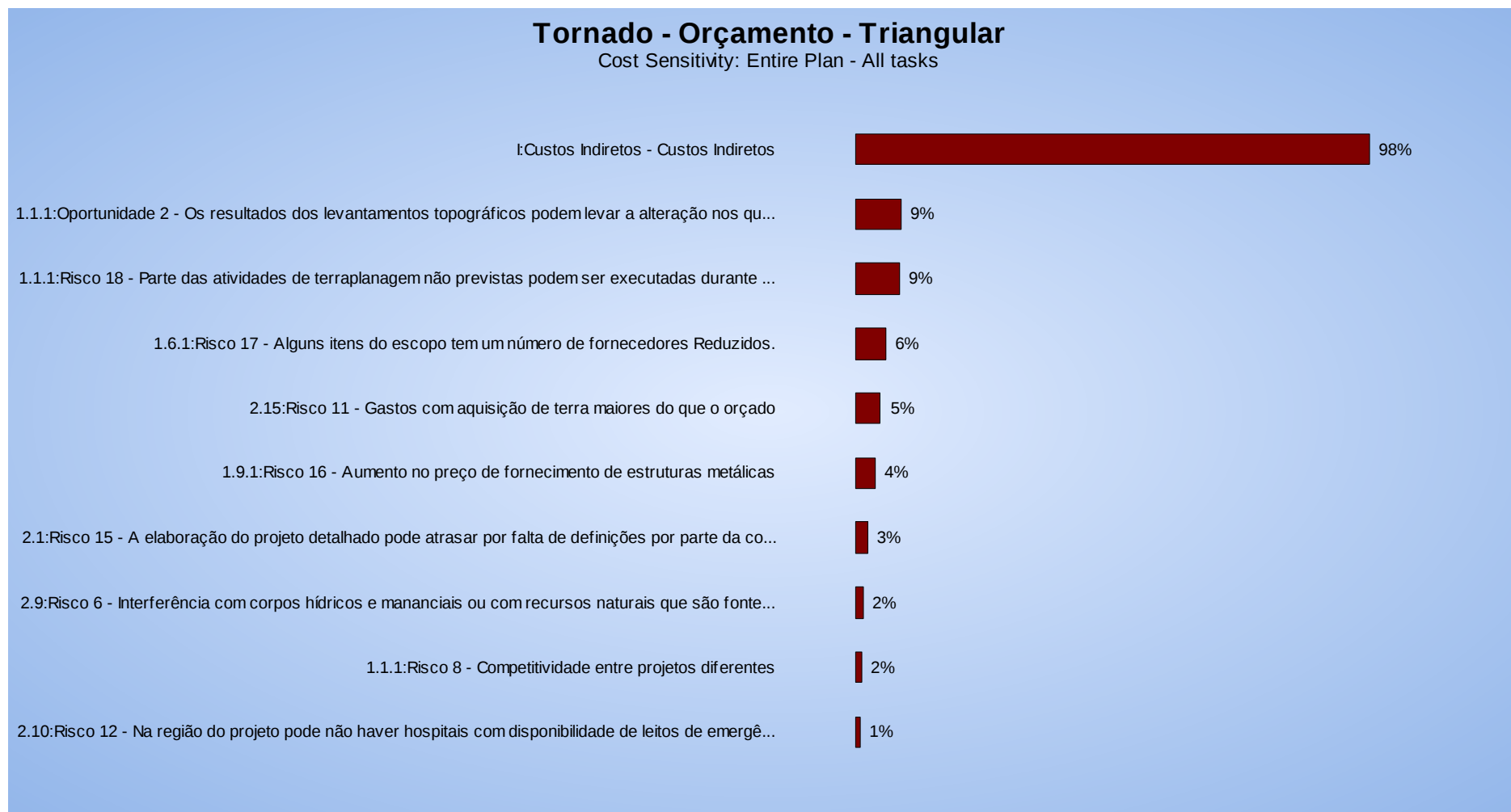
Na análise individual do gráfico de Tornado para a simulação de Orçamento, o resultado obtido para a distribuição Triangular pode ser visto na tabela 13 que reflete os riscos mais impactantes no orçamento utilizando função triangular, conforme figura 17.

TABELA 13 – Riscos impactantes no Orçamento utilizando função Triangular

Principais riscos que impactam os resultados de Orçamento - Triangular			
Atividade Impactada	Código do Risco	Descrição do Risco	Correlação (%)
I	Custos Indiretos	Custos Indiretos	98,41
1.1.1	Oportunidade 2	Os resultados dos levantamentos topográficos podem levar a alteração nos quantitativos de terraplanagem previstos	9,13
1.1.1	Risco 18	Parte das atividades de terraplanagem não previstas podem ser executadas durante o período chuvoso.	8,90
1.6.1	Risco 17	Alguns itens do escopo tem um número de fornecedores Reduzidos.	7,13
2,15	Risco 11	Gastos com aquisição de terra maiores do que o orçado	5,31
1.9.1	Risco 16	Aumento no preço de fornecimento de estruturas metálicas	4,39
2,1	Risco 6	A elaboração do projeto detalhado pode atrasar por falta de definições por parte da contratante.	2,58
1.1.1	Risco 8	Competitividade entre projetos diferentes	1,46
2.10	Risco 12	Na região do projeto pode não haver hospitais com disponibilidade de leitos de emergência e/ou UTI.	1,17

Fonte: Elaborado pelos Autores

FIGURA 17 – Gráfico de Tornado do Orçamento utilizando função Triangular



Fonte: Elaborado pelos Autores

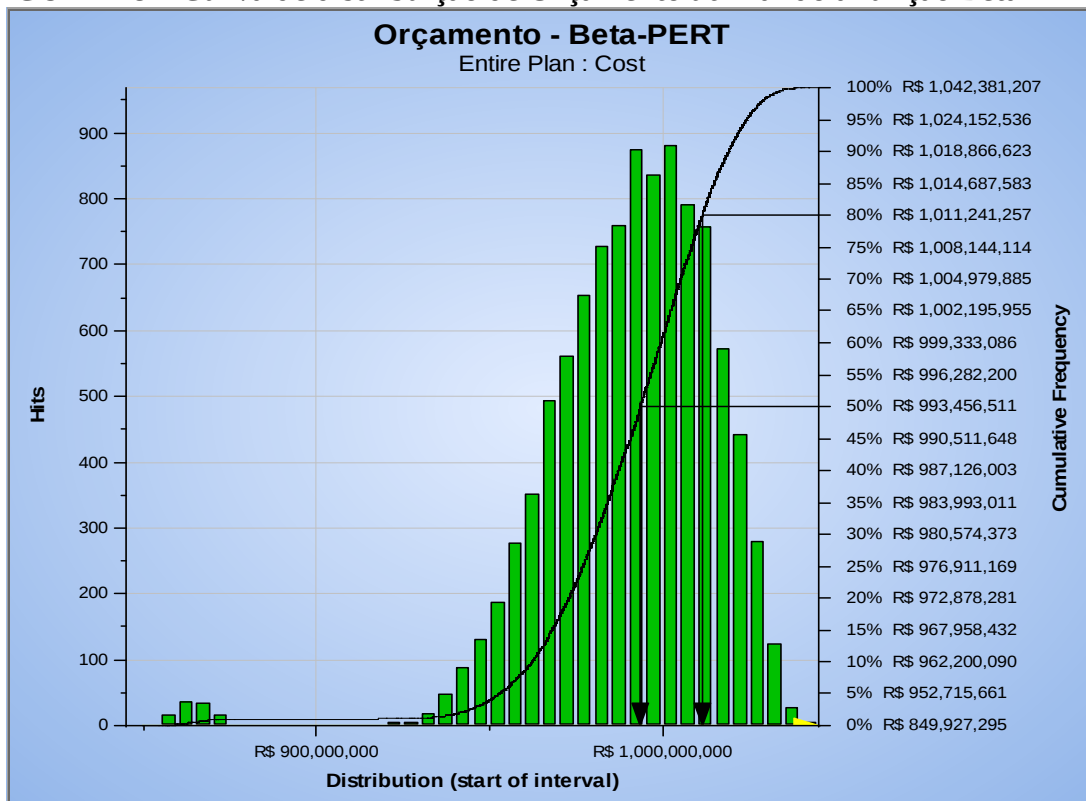
Para o gráfico de Tornado de Orçamento da figura 17, o resultado obtido na simulação com distribuição Triangular revela que o risco que mais influencia o resultado obtido é o risco relacionado aos atrasos que podem existir no cronograma, ou seja, é o aumento dos custos indiretos do projeto, com um percentual de 98,41%, conforme tabela 13.

Na tabela 13, os riscos e as oportunidades são mais bem detalhados, informando a correlação percentual destes fatores no projeto, ou seja, é informado o tanto que cada risco/oportunidade influencia no aumento dos valores de orçamento final do projeto. Também é possível conhecer qual a atividade mais impactada no projeto caso este risco ou oportunidade ocorra. As atividades são codificadas segundo especificação interna da empresa.

4.3.2.2 Resultados da Simulação para Orçamento – Beta-PERT

Utilizando os dados descritos no Anexo B, que alimentam o software no momento da simulação definindo os valores otimistas, mais prováveis e pessimistas para cada risco a que o projeto está sujeito, na simulação realizada para o orçamento do projeto, o gráfico de distribuição de resultados utilizando a distribuição Beta-PERT revelou a curva de distribuição de orçamento, conforme figura 18 e tabela 14:

FIGURA 18 – Curva de distribuição de Orçamento utilizando a função Beta-PERT



Fonte: Elaborado pelos Autores

TABELA 14 – Principais resultados de Orçamento para função Beta-PERT

Frequência Acumulada	Orçamento Beta-PERT
0%	849.927.295,00
50%	993.456.511,00
80%	1.011.241.257,00
100%	1.042.381.207,00

Fonte: Elaborado pelos Autores

No gráfico da figura 18 pode-se observar que o menor valor para o orçamento do projeto é R\$ 849.827.295, o que daria um montante a mais de R\$ R\$ 4.675.675. Já o valor de P80 obtido é o valor de R\$ 1.011.241.257, dando um montante a mais de R\$ 165.989.637.

Na análise individual do gráfico de Tornado para a simulação de Orçamento, o resultado obtido para a distribuição Beta-PERT pode ser visto na tabela 15 que reflete os riscos mais impactantes no orçamento utilizando função Beta-PERT, conforme figura 19.

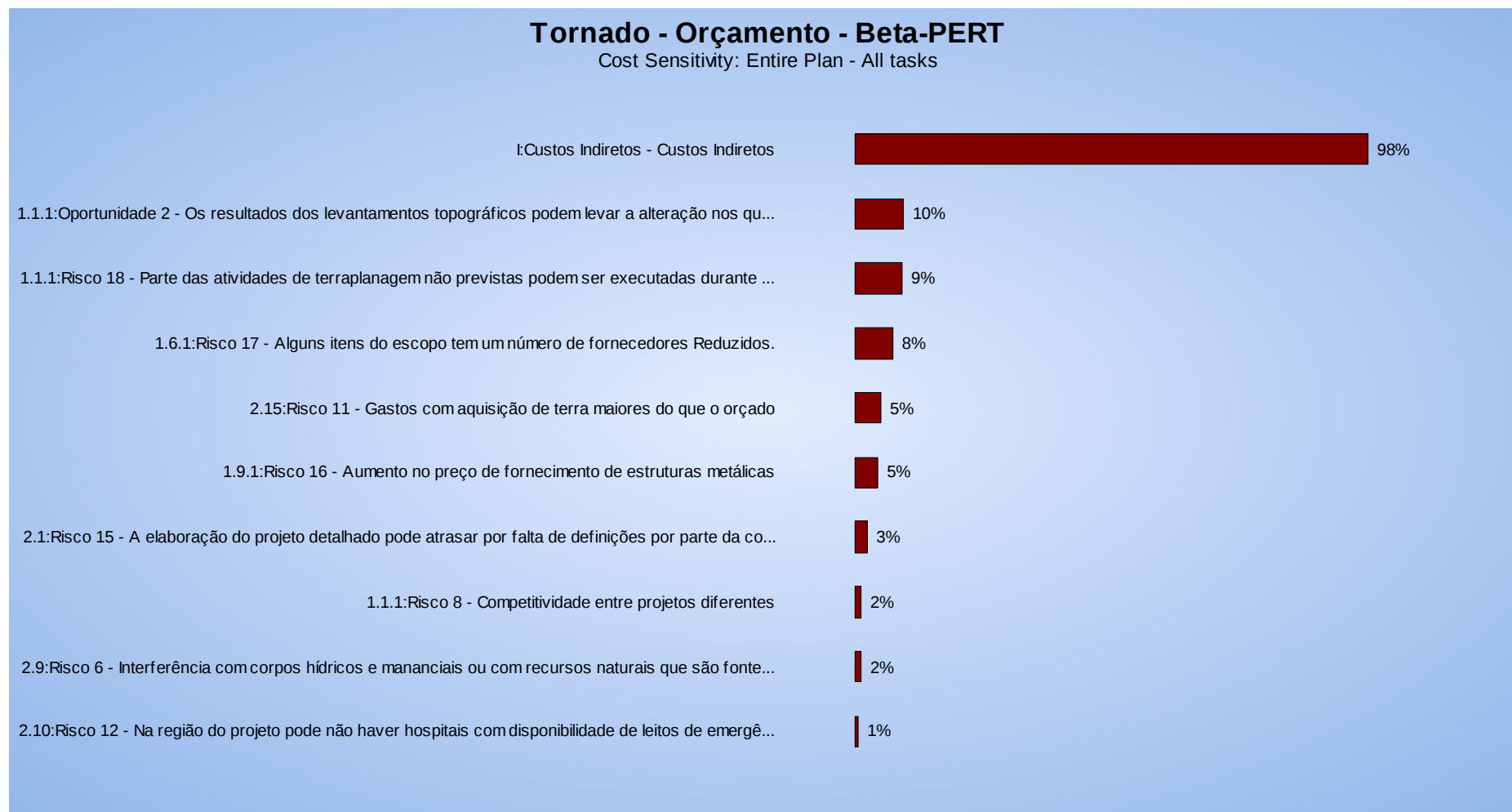
Em semelhança com a distribuição Triangular, para a distribuição Beta-PERT, o resultado do gráfico de Tornado de Orçamento revelou que o risco que mais influencia o resultado obtido também é o risco relacionado aos atrasos que podem existir no cronograma, ou seja, é o aumento dos custos indiretos do projeto, com um percentual de 98,23%.

TABELA 15 – Riscos impactantes no Orçamento para função Beta-PERT

Principais riscos que impactam os resultados de Orçamento - Beta-PERT			
Atividade Impactada	Código do Risco	Descrição do Risco	Correlação (%)
I	Custos Indiretos	Custos Indiretos	98,23
1.1.1	Oportunidade 2	Os resultados dos levantamentos topográficos podem levar a alteração nos quantitativos de terraplanagem previstos	9,71
1.1.1	Risco 18	Parte das atividades de terraplanagem não previstas podem ser executadas durante o período chuvoso.	9,33
1.6.1	Risco 17	Alguns itens do escopo tem um número de fornecedores Reduzidos.	7,75
2,15	Risco 11	Gastos com aquisição de terra maiores do que o orçado	5,20
1.9.1	Risco 16	Aumento no preço de fornecimento de estruturas metálicas	4,60
2,1	Risco 15	A elaboração do projeto detalhado pode atrasar por falta de definições por parte da contratante.	2,82
1.1.1	Risco 8	Competitividade entre projetos diferentes	1,56
2,9	Risco 6	Interferência com corpos hídricos e mananciais ou com recursos naturais que são fontes de subsistência na área de influencia	1,56
2.10	Risco 12	Na região do projeto pode não haver hospitais com disponibilidade de leitos de emergência e/ou UTI.	1,03

Fonte: Elaborado pelos Autores

FIGURA 19 – Gráfico de Tornado do Orçamento utilizando a função Beta-PERT



Fonte: Elaborado pelos Autores

4.4 Análise dos Resultados

Como as duas maiores restrições de um projeto geralmente são de caráter financeiro ou de tempo, deve-se levar em consideração a contingência estipulada para o projeto, pois no gerenciamento de riscos em projeto, uma das estratégias para minimizar os impactos dos riscos são as reservas de contingência, que devem remediar o impacto dos resíduos de possíveis riscos a que o projeto está sujeito.

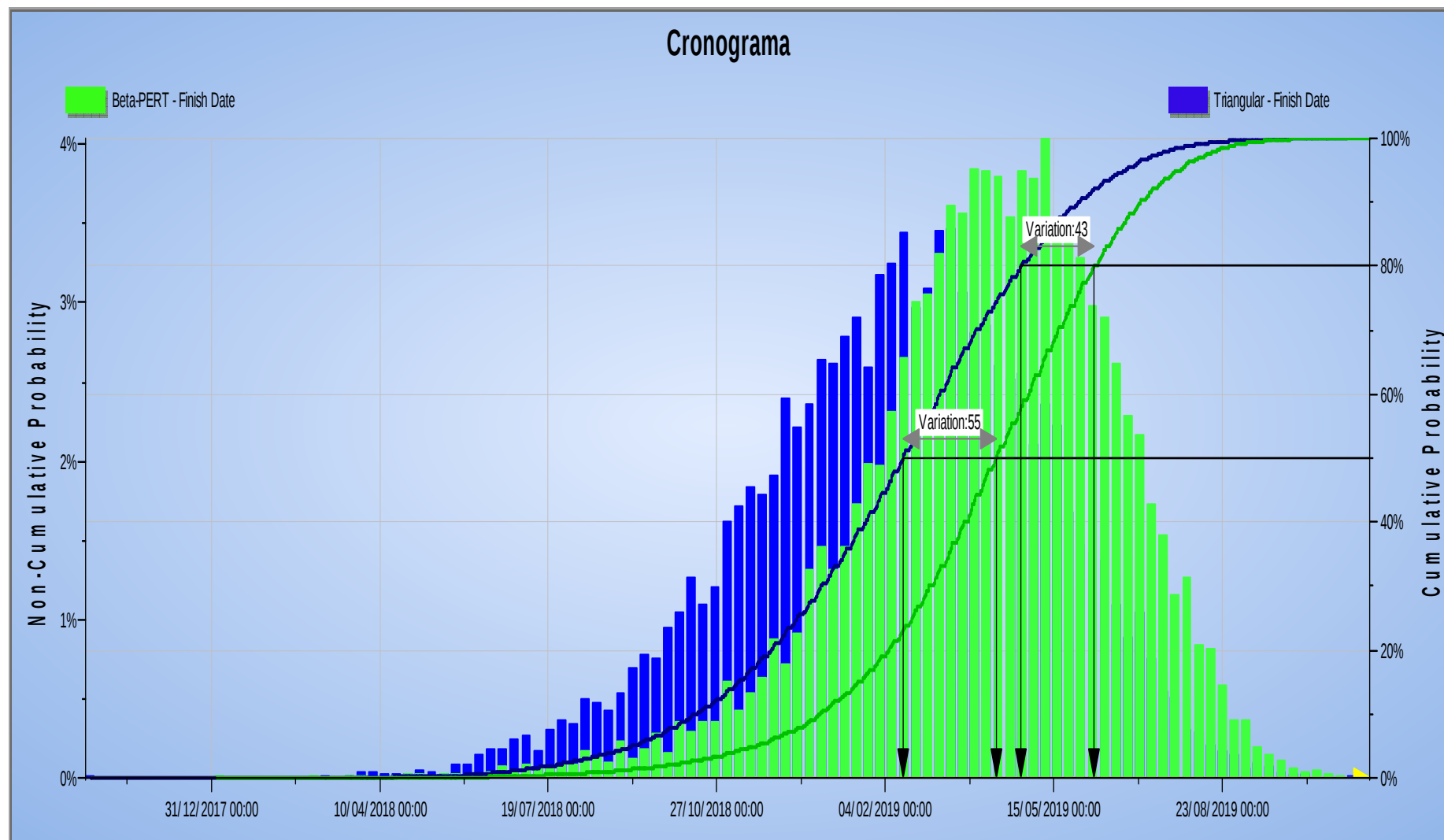
Considerando o estudo de caso do presente trabalho, que analisou os resultados encontrados na simulação de riscos do Projeto Verde, toda a análise destes resultados trabalhou com os valores determinísticos do projeto, a saber:

- Data de Término: **20/01/2017;**
- Orçamento Total: **R\$ 845.251.620,00.**

Em conformidade com os o objetivo de pesquisa descritiva de comparar as distribuições Triangular e Beta-PERT na análise de riscos em projeto, confrontou-se os resultados das duas distribuições em um gráfico de melhor aproveitamento visual para análise dos resultados obtidos durante todo o trabalho.

O software Primavera Risk Analysis permite comparar as curvas de distribuição dos resultados em um único gráfico que revela as semelhanças e diferenças entre os distintos níveis de contingência simulados para as distribuições de probabilidade. No caso das simulações de Cronograma, o resultado obtido na comparação gráfica das distribuições triangular e Beta-PERT pode ser visto na figura 20:

FIGURA 20 – Cronograma: Comparação das curvas de distribuição



Fonte: Elaborado pelos Autores

Considerando o estudo de caso apresentado, as principais diferenças nos resultados obtidos de cronograma são detalhadas na tabela 16:

TABELA 16 – Comparação entre o principais resultados de Cronograma

Frequência Acumulada	Data de Término Triangular	Data de Término Beta-PERT	Diferença (dias)
0%	20/10/2017	03/01/2018	75
50%	14/02/2019	10/04/2019	55
80%	25/04/2019	07/06/2019	43
100%	04/11/2019	18/11/2019	14

Fonte: Elaborado pelos Autores

Observa-se, conforme tabela 16, que ocorre uma diferença significativa nos valores de P80, que conforme explicitado anteriormente, são utilizados para o cálculo de contingência do projeto. Quando utilizada a distribuição Triangular, a contingência de prazo de cronograma seria de aproximadamente 27 meses, já para a distribuição Beta-PERT, a contingência de prazo seria de aproximadamente 29 meses, computando uma diferença em torno de um mês e meio entre as duas contingências simuladas, o que para o cronograma deste projeto é uma diferença considerável.

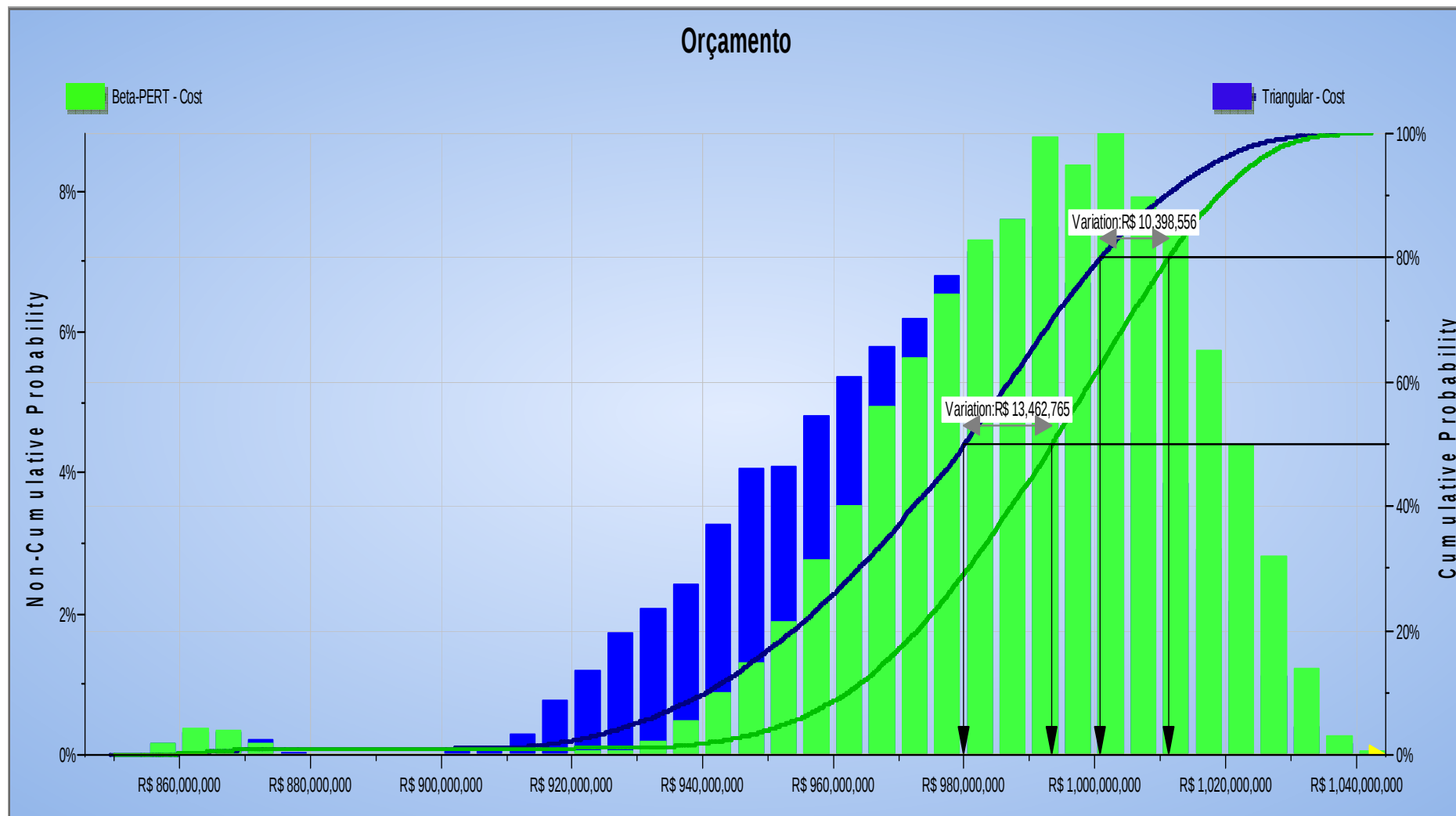
Como o objetivo de qualquer equipe de gestão de riscos com foco na otimização de tempo e custo é mitigar as ameaças causadoras de impactos negativos no projeto, as respostas da simulação se mostraram bem realistas, o que fornece robustez aos argumentos quanto ao andamento do projeto e viabilidade do mesmo dentro dos objetivos estratégicos da empresa.

Durante as simulações de cronograma também foi possível correlacionar os principais riscos de maior influência no prazo do projeto, que para ambos os casos foi o Risco 8, competitividade entre projetos diferentes. Isto evidencia a necessidade de tratar primordialmente este risco, uma vez que ele reflete um impacto de 39% em todo o atraso do cronograma do projeto para simulação com distribuição triangular, e 41% para a simulação com distribuição Beta-PERT.

Em ambos os gráficos de tornado que refletiram a correlação direta dos riscos com o resultado de cronograma, pode se observar que, embora fossem dadas duas distribuições diferentes, o resultado encontrado foi muito próximo, revelando mesmo risco de competitividade entre projetos, com diferença percentual de apenas 2% entre as distribuições.

Na comparação integrada das curvas de distribuição dos resultados em um único gráfico, no caso das simulações de orçamento, o resultado obtido da comparação da curva de distribuição triangular e com a curva Beta-PERT pode ser observado na figura 21:

FIGURA 21 – Orçamento: Comparação das curvas de distribuição



Fonte: Elaborado pelos Autores

No segundo momento, para as simulações de orçamento de projeto, as principais diferenças nos resultados obtidos são evidenciadas na tabela 17:

TABELA 17 – Comparação entre o principais resultados de Orçamento

Frequência Acumulada	Orçamento Triangular	Orçamento Beta-PERT	Diferença
0%	R\$ 849.273.558,00	849.927.295,00	R\$ 653.737
50%	R\$ 979.993.746,00	993.456.511,00	R\$ 13.462.765
80%	R\$ 1.000.842.701,00	1.011.241.257,00	R\$ 10.398.556
100%	R\$ 1.040.636.961,00	1.042.381.207,00	R\$ 1.744.246

Fonte: Elaborado pelos Autores

Observa-se, conforme tabela 17, que ocorre uma diferença significativa nos valores de P80 no cronograma, também utilizados para o cálculo de contingência do projeto. Quando utilizado a distribuição Triangular, a contingência de orçamento seria de R\$ 155.591.081,00. Em semelhante situação, para a distribuição Beta-PERT, a contingência de orçamento seria de R\$ 165.989.637,00; o que daria uma diferença de mais de dez milhões de reais entre as duas contingências simuladas. Para um projeto cujo orçamento total seja de R\$ 845.251.620,00; a diferença encontrada entre as contingências de ambas as simulações gira em torno de apenas 1% de seu valor total, porém esta diferença se constitui um valor significativamente alto a ser avaliado por qualquer empresa que busque otimização de custos nos seus projetos.

Uma vez que as empresas fazem parte de um ambiente dinâmico e ativo, a gestão dos riscos se torna tão importante justamente por causa dos altos valores encontrados na análise dos resultados de simulação, pois estes valores são levados em consideração no momento de implementação de projetos como o Projeto Verde, que dispõe de um orçamento tão alto.

Durante as simulações também foi possível correlacionar os principais riscos de maior influência no orçamento do projeto que, assim como na simulação de cronograma, na simulação de orçamento foi encontrado o mesmo risco com grande impacto no resultado final nas duas distribuições. O risco que mais influenciou o aumento de custos no orçamento do projeto durante as simulações foi o risco de aumento dos custos indiretos, que no projeto está relacionado aos atrasos que podem existir no cronograma.

Observa-se então, a relação direta entre os dois fenômenos. O atraso no cronograma do projeto reflete diretamente em aumento dos custos indiretos, ou seja, acréscimo no orçamento. Isto evidencia a necessidade de tratar primordialmente este risco, uma vez que ele reflete um impacto de aproximadamente 98% em todo o acréscimo de custos no projeto para simulação de ambas as distribuições, triangular e Beta-PERT.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi possível inferir várias hipóteses no que diz respeito à simulação de riscos tendo como base o Método de Monte Carlo para aplicação de diferentes distribuições probabilísticas.

Como o Método de Monte Carlo gera diversas iterações criando milhares de projetos que podem representar o projeto em estudo, para cada iteração, o Método de Monte Carlo seleciona aleatoriamente um custo ou data para um dado elemento de projeto que calcula o custo total ou a duração final por iteração somando todos estes elementos. É a partir desta premissa que se dá a importância da utilização do Método de Monte Carlo no presente trabalho, sabendo ainda, que este se constitui um método valoroso no gerenciamento de riscos da maioria das empresas que efetuam este tipo de simulação.

Pode se perceber que o Método de Monte Carlo é considerado uma ferramenta robusta para a Análise de Riscos Quantitativa em um projeto, tendo papel crucial para o fornecimento de informações que serão utilizadas na gestão dos riscos de um projeto, tais como, quais são os riscos mais impactantes e seu possível resultado, tanto no orçamento quanto no cronograma, caso os riscos identificados ocorram.

Sabe-se que todos os projetos possuem riscos e que não é possível saná-los por completo. Contudo, em uma empresa que busca mitigar os riscos de projeto de modo a torná-los menos impactantes no resultado final de sua implementação, os resultados do Estudo de Caso do presente trabalho evidenciaram que os atrasos encontrados em ambas as simulações de cronograma, tanto triangular, quanto Beta-PERT, são considerados substancialmente grandes.

Também pode-se constatar que a diferença no orçamento desse projeto é impactante quando considerado o valor de P80 como nova meta, assim como atualmente é feito na empresa estudada, pois traria um aumento no orçamento do projeto em torno de 18,4% para a distribuição Triangular e de 19,6% para a Distribuição Beta-PERT.

Neste contexto, o gerenciamento de riscos torna-se crucial para que o projeto possa atingir as metas estabelecidas em conformidade com a estratégia organizacional da empresa, uma vez que um gerenciamento de riscos bem feito faz com que as incertezas acerca do risco diminuam, podendo levar até na mitigação do risco, gerando estimativas menores, tanto para prazo quanto para orçamento, o que torna o projeto mais viável para a companhia.

Como a distribuição de probabilidades associa uma probabilidade a cada resultado numérico de um experimento, ou seja, dá a probabilidade de cada valor de uma variável

aleatória, entende-se que é importante definir um critério adequado para a escolha da distribuição de probabilidade a ser utilizada na simulação de projeto.

Durante a exemplificação da utilização das distribuições apresentada neste trabalho pode-se perceber que a distribuição Beta-PERT apresentou um desvio padrão menor que a distribuição Triangular em todos os casos, concluindo-se assim, que a distribuição Beta-PERT tem uma dispersão menor do que a Triangular e tende a concentrar os seus resultados mais próximo do ponto mais provável.

A grande contribuição deste trabalho está no fato de que, mesmo com todas estas evidências de que a distribuição Beta-PERT possua uma dispersão menor que a Triangular, não se pode afirmar que uma distribuição dê um resultado maior do que a outra; e sim que, no caso da Beta-PERT, os valores encontrados ficarão mais próximos do valor mais provável escolhido durante a estimativa de Três Pontos. Em concordância, a distribuição Triangular terá uma dispersão maior dos resultados em proporção à distância dos valores da mesma estimativa, pois quanto mais distante, mais disperso será o resultado.

Individualmente, cada risco possui diferentes parâmetros a serem analisados no emprego do método de Monte Carlo, portanto, faz-se necessário avaliar qual tipo de distribuição melhor se aplica para cada caso.

No presente estudo de caso, confirmando o que foi visto em diversas literaturas, a distribuição Beta-PERT se mostrou melhor convencionada para a análise de risco em projetos do que a distribuição Triangular, visto que os valores mais prováveis foram contemplados mais acintosamente nos seus resultados. Entretanto, não se pode afirmar com plena certeza que apenas a distribuição Beta-PERT deva ser utilizada na simulação dos riscos. Recomenda-se então, a combinação das duas distribuições e melhor entendimento sobre o momento em que cada uma deve ser requisitada, a fim de utilizar a distribuição mais viável no dado risco simulado.

Concluiu-se ainda que caso haja grandes evidências e boa fundamentação dos insumos disponibilizados na base histórica dos riscos de projeto, é indicado utilizar a Beta-PERT, mas se os insumos não forem disponibilizados de maneira satisfatória, recomenda-se a utilização da Triangular, por ser melhor aplicada em casos generalizados. Este ponto que separa a quantidade suficiente de dados captados é crucial para o andamento da simulação, gerando maior confiabilidade na tomada de decisão sobre qual distribuição utilizar para simulação dos riscos de cronograma e orçamento no projeto.

Por fim, pode-se inferir que o presente estudo de caso demonstrou fundamentalmente que uma boa análise de riscos em cronograma e orçamento precisa integrar as distribuições de

probabilidade, ajustando todos os elementos inseridos, a fim de aproximar a situação fictícia simulada, da situação real que leva em consideração os itens básicos que compõem um gerenciamento de riscos dos principais projetos no portfólio das empresas.

Trabalhos futuros poderão estender este estudo investigando-se outras distribuições que também podem ser empregadas no Método de Monte Carlo para análise de riscos em projeto, como Normal, Poisson, Lognormal, Logtriangular, Gama, Exponencial e Binomial.

Entende-se também que há outras variáveis que podem ser estudadas no Método de Monte Carlo, aplicando a análise de riscos como correlação entre riscos e ainda executar uma simulação conjunta de Cronograma e Orçamento, uma vez que hoje a empresa executa a simulação separadamente.

REFERÊNCIAS

- AMP, Risk. **The beta-PERT distribution**. 2005. Disponível em: <<http://www.riskamp.com/library/pertdistribution.php>>. Acesso em: 18 out. 2012.
- ARAÚJO, J. R.; PINHEIRO, E. A. R.; LOPES, J. W. B.; ANDRADE, E. M. de; SANTOS, J. C. N. **Análise de confiabilidade do modelo SCS para uma microbacia utilizando os Métodos de Monte Carlo e LHS**. Disponível em: <<http://www.inovagri.org.br/meeting/wp-content/uploads/2012/06/Protocolo249.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2012.
- BANKS, Jerry. **Introduction to Simulation**. Proceeding of the Winter conference, Atlanta, 1999.
- BANKS, J; CARSON II, J. S. **Discrete-Event System Simulation**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1984.
- BUCHSBAUM, Paulo. **Simulação com Pert Modificado**. 2012. Disponível em: <<http://www.greatsolutions.com.br/images/Beta.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2012.
- DAVIS, Ron. **Stochastic Project Duration Analysis Using Pert-Beta Distributions**. Disponível em: <http://www.cob.sjsu.edu/facstaff/davis_r/papers/PERT-betaAnalysis/Stochastic_PERT-beta_Analysis_by_Davis.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2012.
- FERNANDES, C. **Gerenciamento de riscos em projetos: Como usar microsoft excel para realizar a simulação de monte Carlo**. 2005. Disponível em: <www.bbbrothers.com.br/scripts/Artigos/MonteCarloExcel.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2012.
- FERREIRA, Aurélio B. de Hollanda. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2004.
- FREITAS FILHO, Paulo José de. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- GALVÃO, M. **Análise quantitativa de riscos com simulação de Monte Carlo**. Editora Mundo PM. 2005. Disponível em: <www.mundopm.com.br/download/montecarlo.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2012.
- GORDON, Geoffrey. **System simulation**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1969.
- HAYES, Ian S. **Managing the Project Portfolio**. Disponível em: <http://www.clarity-consulting.com/managing_the_project_portfolio.htm>. Acesso em: 23 out. 2012.
- HAMMERSLEY, M.; HANDSCOMB, D. C. **Monte Carlo Methods**, Chapman and Hall, London & New York, 1964.
- HEIZER, Jay; RENDER, Barry. **Administração de Operações: bens e serviços**. 5. ed. Rio de Janeiro. LTC, 2001.

HELDMAN, K. **Gerência de projetos: guia para o exame oficial do PMI**. 5. ed. (Revisada e Ampliada). Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

HULETT, David. **Integrated Cost-Schedule Risk Analysis**. Gower Publishing, Ltd., 2011
KERZNER, H. **Gestão de Projetos: as melhores práticas**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1998.

LARMAN, Craig. **Utilizando UML e padrões - Uma introdução a análise e ao projeto orientados a objetos e ao processo unificado**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

LUSTOSA, P. R. B.; PONTE, V. M. R.; DOMINAS, W. R. **Pesquisa Operacional para decisão em contabilidade e administração**. São Paulo: Atlas, 2004.

MATIAS JR, Rivalino. **Análise Quantitativa de Risco Baseada no Método de Monte Carlo: Abordagem PMBOK**. Artigo, 2008.

METROPOLIS, N.; ULAM, S. **The Monte Carlo method**. Journal of the American Statistical Association, 1949.

MORAES, D. D.; **Realizar a Análise Quantitativa dos Riscos**. Disponível em: <<http://douglimar.blogspot.com.br/2012/01/realizar-analise-quantitativa-dos.html>>. Acesso em: 25 out. 2012.

NELSON, W.R., HIRAYAMA, H., ROGERS, D.W.O. **The EGS4 Code System**. Stanford Linear Accelerator Center, Stanford University, Stanford, California, 1985.

PMI, Project Management Institute, Inc. **Um Guia do Conhecimento do Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)**. 4. ed. Newtown Square, Pennsylvania: PMI, 2009.

PRADO, Darci Santos do. **Teoria das Filas e da Simulação**. Série Pesquisa operacional, v.2. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

PRADO, Darci Santos do. **Usando o Arena em Simulação**. 4. ed. Belo Horizonte. INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2010.

ORACLE, Ficha Técnica. **Primavera Risk Analysis**. Disponível em: <http://www.oracle.com/ocom/groups/public/@ocom/documents/webcontent/193565_ptb.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2012.

SHANNON, R.E. **System simulation: the art and science**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1975.

TAYLOR, R.E.; SCHMIDT, J. W. **Simulation and Analysis of Industrial Systems**. Richard D. Irwin, Homewood, 1970.

VARGAS, R. **Gerenciamento de projetos – Estabelecendo diferenciais competitivos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

VOSE, Software. **PERT Distribution**. 2007. Disponível em:
<http://www.vosesoftware.com/ModelRiskHelp/index.htm#Distributions/Continuous_distributions/PERT_distribution.htm>. Acesso em: 19 out. 2012.

WARD, S. C.; CHAPMAN, C. B. **Extending the use of risk analysis in project management**. International Journal of Project Management, 1991.

ANEXO A – RISCOS ESTIMADOS PARA CRONOGRAMA DO PROJETO VERDE

Código do risco	Descrição	Estimativa para o Cronograma							
		Linhas vinculadas	Otimista (dias)	Racional	Provável (dias)	Racional	Pessimista (dias)	Racional	Distribuição
Risco 3	O prazo estimado pelo projeto para obtenção da licença prévia pode ser menor que o prazo legal.	Z0001 1100	0	Não atrasar	60	2 meses de atraso tendo como histórico da região	180	6 meses de atraso, média historica da região	Triangular
Risco 4	Novas condicionantes ambientais podem surgir.	Z0001 1100	0	Não atrasar	60	2 meses de atraso tendo como histórico da região	180	6 meses de atraso, média historica da região	Triangular
Risco 5	Existência de passivos ambientais derivado de atividade anterior da empresa.	Z0001 1100	0	Não atrasar	30	1 mês de atraso tendo como histórico da região	60	2 meses de atraso tendo como histórico da região	Triangular
		Z0001 1120	0	Não atrasar	30	1 mês de atraso tendo como histórico da região	60	2 meses de atraso tendo como histórico da região	
Risco 6	Interferência com corpos hídricos e mananciais ou com recursos naturais que são fontes de subsistência na área de influencia	Z0001 1100	0	Não atrasar	30	1 mês de atraso tendo como histórico da região	60	2 meses de atraso tendo como histórico da região	Triangular
		Z0001 1120	0	Não atrasar	30	1 mês de atraso tendo como histórico da região	60	2 meses de atraso tendo como histórico da região	
Risco 7	A Aquisição de novas áreas pode levar à novo processo de licenciamento	Z0001 1100	180	A mudança leva a um processo inicial de licenciamento. Isto leva 6 meses.	210	A mudança leva a um processo inicial de licenciamento. Isto leva 6 meses. 30 dias considerando o prazo de revisão do projeto de	270	A mudança leva a um processo inicial de licenciamento. Isto leva 6 meses (180). 30 dias considerando o prazo de	Triangular
Risco 8	Competitividade entre projetos diferentes	Z0001 1580	30	1 mês de atraso	150	5 meses de atraso	180	6 meses de atraso	Triangular
		Z0001 1590	30	1 mês de atraso	150	5 meses de atraso	180	6 meses de atraso	
		Z0001 2210	30	1 mês de atraso	150	5 meses de atraso	180	6 meses de atraso	
		Z0001 2220	30	1 mês de atraso	150	5 meses de atraso	180	6 meses de atraso	
Risco 9	Necessidade de treinamento de recursos técnicos especializados	Z0001 2050	0	Não atrasar	14	2 semanas de treinamento	21	3 semanas de treinamento	Triangular
		Z0001 2680	0	Não atrasar	14	2 semanas de treinamento	21	3 semanas de treinamento	

Código do risco	Descrição	Estimativa para o Cronograma							Distribuição
		Linhas vinculadas	Otimista (dias)	Racional	Provável (dias)	Racional	Pessimista (dias)	Racional	
Risco 13	Cumprimento das RACs, no escopo do projeto prevê contratação de empresas da região, talvez elas não consigam atender as RACs	Z0001 1610	0	Não atrasar	14	2 semanas de treinamento	21	3 semanas de treinamento	Triangular
		Z0001 2240	0	Não atrasar	14	2 semanas de treinamento	21	3 semanas de treinamento	
Risco 14	Possibilidade de Conflitos devido à diferença na qualidade dos Alojamentos das empresas contratadas.	Z0001 1610	0	Não atrasar	14	2 semanas de paralisação	28	4 semanas de paralisação	Triangular
		Z0001 2240	0	Não atrasar	14	2 semanas de paralisação	28	4 semanas de paralisação	
Oportunidade 1	Possibilidade de utilização de Software para otimizar o tempo do ramp-up.	Z0001 1150	0	Não adiantar	18	adiantar em 10%	36	adiantar em 20%	Triangular
Oportunidade 2	Os resultados dos levantamentos topográficos podem levar a alteração nos quantitativos de terraplanagem previstos	Z0001 1590	0	Não adiantar	6	adiantar em 10%	15	adiantar em 25%	Triangular
		Z0001 2220	0	Não adiantar	6	adiantar em 10%	15	adiantar em 25%	
Risco 15	A elaboração do projeto detalhado pode atrasar por falta de definições por parte da contratante.	Z0001 1770	0	Não atrasar	4	demorarar 10% a mais	18	demorarar 50% a mais	Triangular
Risco 18	Parte das atividades de terraplanagem não previstas podem ser executadas durante o período chuvoso.	Z0001 1590	0	Não atrasar	15	demorarar 25% a mais	30	demorarar 50% a mais	Triangular
		Z0001 2220	0	Não atrasar	15	demorarar 25% a mais	30	demorarar 50% a mais	

ANEXO B – RISCOS ESTIMADOS PARA ORÇAMENTO DO PROJETO VERDE

Código do risco	Descrição	Estimativa para o Orçamento							
		Linhas vinculadas	Otimista (R\$)	Racional	Provável (R\$)	Racional	Pessimista (R\$)	Racional	Distribuição
Risco 1	Os passivos sociais identificados na região decorrentes de operação/projeto de outras empresas podem impactar o projeto.	2.10	R\$ 130.000,00	Já se tem certeza de pelo menos um passivo no valor de R\$130000	280.125	5% da verba destinada para passivos	R\$ 560.250,26	10% da verba destinada para passivos	Triangular
Risco 2	Presença de comunidades indígenas, garimpeiros, etc. com ativismo identificado na região do projeto e ONG's	2.10	R\$ 100.000,00	O minimo que a comunidade está requisitando é uma quantia de R\$100000	560.250	10% da verba destinada para passivos	R\$ 840.375,40	15% da verba destinada para passivos	Triangular
Risco 3	O prazo estimado pelo projeto para obtenção da licença prévia pode ser menor que o prazo legal.	2.9	R\$ 0,00	Sem impacto	140.063	5% da verba destinada para licença	R\$ 280.125,13	10% da verba destinada para licença	Triangular
Risco 4	Novas condicionantes ambientais podem surgir.	2.9	R\$ 0,00	Sem impacto	140.063	5% da verba destinada para licença	R\$ 280.125,13	10% da verba destinada para licença	Triangular
Risco 5	Existência de passivos ambientais derivado de atividade anterior da empresa.	2.9	R\$ 0,00	Sem impacto	140.063	5% da verba destinada para licença	R\$ 280.125,13	10% da verba destinada para licença	Triangular
Risco 6	Interferência com corpos hídricos e mananciais ou com recursos naturais que são fontes de subsistência na área de influencia	2.9	R\$ 0,00	Sem impacto	140.063	5% da verba destinada para licença	R\$ 280.125,13	10% da verba destinada para licença	Triangular
Risco 7	A Aquisição de novas áreas pode levar à novo processo de licenciamento	2.9	R\$ 58.000,00	2% da verba destinada para licença	140.063	5% da verba destinada para licença	R\$ 280.125,13	10% da verba destinada para licença	Triangular
Risco 8	Competitividade entre projetos diferentes	1.1.1	R\$ 0,00	Sem impacto	686.920	0,5% da verba destinada para terraplanagem	R\$ 1.373.839,81	1% da verba destinada para terraplanagem	Triangular
Risco 9	Necessidade de treinamento de recursos técnicos especializados	2.17	R\$ 0,00	Sem impacto	28.013	0,5% da verba destinada para comissionamento	R\$ 56.025,03	1% da verba destinada para comissionamento	Triangular

Código do risco	Descrição	Estimativa para o Orçamento							
		Linhas vinculadas	Otimista (R\$)	Racional	Provável (R\$)	Racional	Pessimista (R\$)	Racional	Distribuição
Risco 10	O plano de contratação de pessoal pode apresentar indefinições de quantitativo e qualificação profissional necessária para operação.	1.6.2	R\$ 0,00	Sem impacto	205.177	3% da verba destinada para montagem de equipamentos mecanicos	R\$ 547.139,15	3% da verba destinada para montagem de equipamentos mecanicos	Triangular
		1.4.2	R\$ 0,00	Sem impacto	47.384	3% da verba destinada para obras civis	R\$ 126.356,05	8% da verba destinada para obras civis	
Risco 11	Gastos com aquisição de terra maiores do que o orçado	2.15	R\$ 5.000.000,00	Preço de mercado das areas a serem adquiridas	6.250.000	25% de aumento no valor devido a especulação imobiliária	R\$ 10.000.000,00	100% de aumento no valor devido a especulação imobiliária	Triangular
Risco 12	Na região do projeto pode não haver hospitais com disponibilidade de leitos de emergência e/ou UTI.	2.10	R\$ 0,00	Sem impacto	112.050	2% da verba destinada para segurança	R\$ 280.125,13	5% da verba destinada para passivos	Triangular
Risco 13	Cumprimento das RACs, no escopo do projeto prevê contratação de empresas da região, talvez elas não consigam atender as RACs	2.10	R\$ 0,00	Sem impacto	112.050	2% da verba destinada para segurança	R\$ 280.125,13	5% da verba destinada para passivos	Triangular
Risco 14	Possibilidade de Conflitos devido à diferença na qualidade dos Alojamentos das empresas contratadas.	2.10	R\$ 0,00	Sem impacto	112.050	2% da verba destinada para segurança	R\$ 280.125,13	5% da verba destinada para passivos	Triangular
Oportunidade 2	Os resultados dos levantamentos topográficos podem levar a alteração nos quantitativos de terraplanagem previstos	1.1.1	R\$ 0,00	Sem ganho	1.373.840	1% da verba destinada para terraplanagem	R\$ 6.869.199,06	5% da verba destinada para terraplanagem	Triangular
Risco 15	A elaboração do projeto detalhado pode atrasar por falta de definições por parte da contratante.	2.1	R\$ 510.000,00	Verba para engenharia já está estourada	1.539.188	5% da verba destinada para engenharia	R\$ 3.078.376,45	10% da verba destinada para engenharia	Triangular
Risco 16	Aumento no preço de fornecimento de estruturas metálicas	1.9.1	R\$ 0,00	Sem impacto	3.149.113	5% da verba destinada para compra de estruturas metálicas	R\$ 6.298.226,79	10% da verba destinada para compra de estruturas metálicas	Triangular

Código do risco	Descrição	Estimativa para o Orçamento							
		Linhas vinculadas	Otimista (R\$)	Racional	Provável (R\$)	Racional	Pessimista (R\$)	Racional	Distribuição
Risco 17	Alguns itens do escopo tem um número de fornecedores Reduzidos.	1.6.1	R\$ 0,00	Sem impacto	5.141.844	5% da verba destinada para o fornecimento de equipamentos mecânicos	R\$ 10.283.688,74	10% da verba destinada para o fornecimento de equipamentos mecânicos	Triangular
		1.7.1	R\$ 0,00	Sem impacto	398.860	5% da verba destinada para o fornecimento de equipamentos elétricos	R\$ 797.719,50	10% da verba destinada para o fornecimento de equipamentos elétricos	Triangular
Risco 18	Parte das atividades de terraplanagem não previstas podem ser executadas durante o período chuvoso.	1.1.1	R\$ 0,00	Sem impacto	6.869.199	5% da verba destinada para terraplanagem	R\$ 13.738.398,12	10% da verba destinada para terraplanagem	Triangular