



SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS APLICADA AO GERENCIAMENTO
DE PRAZO EM PROJETOS: UM ESTUDO DE CASO DE PROJETO LOGÍSTICO
NA INDÚSTRIA DE ÓLEO & GÁS

Leonardo Rosas Leal

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Mário Jorge Ferreira de Oliveira.

Rio de Janeiro

Março de 2011

SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS APLICADA AO GERENCIAMENTO
DE PRAZO EM PROJETOS: UM ESTUDO DE CASO DE PROJETO LOGÍSTICO
NA INDÚSTRIA DE ÓLEO & GÁS

LEONARDO ROSAS LEAL

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Mário Jorge Ferreira de Oliveira, PhD

Prof. Virgílio José Martins Ferreira Filho, D.Sc.

Prof. Silvio Hamacher, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ-BRASIL

MARÇO DE 2011

Leal, Leonardo Rosas

Simulação De Eventos Discretos Aplicada ao Gerenciamento de Prazo em Projetos: Um Estudo de Caso de Projeto Logístico na Indústria de Óleo & Gás/ Leonardo Rosas Leal. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

XI, 153 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Mário Jorge Ferreira de Oliveira

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2011.

Referências Bibliográficas: p.86 - 93

1. Simulação 2. Gerenciamento 3. Prazo 4. Indústria de Óleo & Gás. I. Oliveira, Mario Jorge Ferreira de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

DEDICATÓRIA

“Porque toda a carne é como a erva, e toda a glória do homem como a erva. Secou-se a erva, e caiu a sua flor; mas a palavra do Senhor permanece para sempre.”

(1º Pedro, 24-25)

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, que me concedeu a sua graça e a oportunidade de viver essa vida passageira, lutando pela eternidade.

Ao meu mestre, o Senhor Jesus, por me guiar dia após dia, passo a passo, na estrada dessa vida.

À toda a minha família pelos princípios que dela recebi e que me fizeram chegar até aqui; meus pais, Carlos e Dulce, minha irmã Carla, meus avós Joaquim e Enide e meus tios Péricles e Artur, as pessoas mais presentes na minha vida.

À minha esposa, Elaine Aparecida dos Santos Leal, pelo carinho, compreensão e apoio que foram fundamentais no desenvolvimento do meu trabalho.

Ao professor e orientador, Mário Jorge Ferreira de Oliveira, pela amizade e apoio no desenvolvimento desse tema ainda incipiente em nosso país.

Ao amigo e Engenheiro de Produção, Daniel Otoni Borges, pela contribuição prestada ao desenvolvimento deste trabalho.

À amiga e Engenheira Civil, Vanessa Tieme Ochi, pela contribuição prestada ao desenvolvimento deste trabalho.

À todos os que, de alguma maneira, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada a COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.S.c)

SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS APLICADA AO GERENCIAMENTO
DE PRAZO EM PROJETOS: UM ESTUDO DE CASO DE PROJETO LOGÍSTICO
NA INDÚSTRIA DE ÓLEO & GÁS

Leonardo Rosas Leal

Março/2011

Orientador: Mário Jorge Ferreira de Oliveira

Programa: Engenharia de Produção

O presente trabalho mostra como a Simulação de Eventos Discretos pode ser empregada para se pesquisar cenários de execução de um projeto, sob uma perspectiva de gerenciamento de prazo. Por meio de um modelo de Simulação (modelo matemático) do sistema real, são analisados diversos aspectos sobre a realização de um projeto logístico na indústria de óleo e gás. Para tanto, as principais aleatoriedades do sistema são contempladas no modelo de Simulação. Com isso, dois objetivos são estabelecidos: primeiro, descobrir cenários do sistema com uma expectativa de prazo de projeto menor do que é previsto no cenário real atual e, se possível, a custo zero; segundo, verificar, sob certo contexto, se um modelo de Simulação poderia prever um tempo de projeto mais próximo ao tempo real demandado, se comparado à previsão feita por uma ferramenta PERT/CPM. Surpreendentemente, além de ter se achado vários cenários com ganhos em prazo, dois deles oferecem isso a custo zero e a baixo custo, respectivamente. Para o segundo objetivo, confirmou-se que um modelo de Simulação para o sistema poderia prever um tempo de realização do projeto mais próximo ao prazo real do que uma ferramenta PERT/CPM.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.S.c)

DISCRETE EVENT SIMULATION APPLIED TO THE PROJECT TIME
MANAGEMENT: A CASE OF LOGISTIC PROJECT IN OIL & GAS INDUSTRY.

Leonardo Rosas Leal

March/2011

Advisor: Mário Jorge Ferreira de Oliveira

Department: Industrial Engineering

This work shows how Discrete Event Simulation could be employed to research project execution scenarios in a view of time management. Through a Simulation model (mathematical model) of the real system, a lot of aspects are analysed in a logistic project in the oil & gas industry. To do that, some of the major stochastic aspects of the system are considered in the Simulation model. Then, two objectives are given: First, find out a sort of scenarios that offer a lower project time expectation in relation to the current actual scenario and, if possible, without cost; Second, verify if a Simulation model could predict a project time nearer to the real project time than a PERT/CPM tool in a certain context. Surprisingly, besides a lot of scenarios could reach lower project time, two of them could be done with no cost and low cost, respectively. As for the second objective, it has been confirmed that a Simulation model of the system could forecast a nearer project time in relation to the real project time than a PERT/CPM tool.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificativa do estudo.....	3
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Relevância do tema.....	5
1.4 Estrutura e conteúdo da dissertação.....	5
2. METODOLOGIA DE PESQUISA	7
2.1 O Processo de pesquisa.....	7
2.2 Perguntas-chaves da pesquisa.....	9
2.3 Palavras-chaves da pesquisa	9
2.4 Conclusões	9
3. SIMULAÇÃO.....	11
3.1. O Conceito de sistema	11
3.2. O Conceito de modelo	11
3.2.1 O Conceito de modelo determinístico e de modelo estocástico	12
3.3. O Conceito de Simulação	13
3.4. A solução de problemas: modelos analíticos x modelos de Simulação.....	13
3.5. Etapas de um estudo de Simulação.....	15
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1 Método utilizado:.....	17
4.2 Marcos históricos:.....	18
4.2.1 Monte Carlo:	18
4.2.2 GERT – Graphic Evaluation and Review Technique:.....	19
4.2.3 VERT – Venture Evaluation and Review Technique:.....	20
4.2.4 SD – Sistemas Dinâmicos:.....	21
4.2.5 SED – Simulação de Eventos Discretos:	22
4.2.6 Simulação Híbrida:	23
4.3 Estratificações e análise dos resultados:	24
4.4 Conclusões:.....	31

5. O PROJETO DE LEVANTAMENTO DE DADOS GEOFÍSICOS E GEOTÉCNICOS PARA LANÇAMENTO DE DUTOS SUBMARINOS	35
6. MODELAGEM.....	38
6.1 Criação do modelo conceitual	38
6.2 Coleta de dados.....	41
6.2.1 Dados de entrada com registro histórico:.....	41
6.2.2 Dados de entrada sem registro histórico:	44
6.3 Tradução do modelo (implementação)	46
6.4 Verificação do modelo.....	48
6.5 Validação do modelo	48
7. PROJETO DE EXPERIMENTOS GERAL	50
7.1 Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação ($2^k \times r$) para os fatores internos à OIL & GAS Enterprise	52
7.2 Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação ($2^k \times r$) para os fatores externos à OIL & GAS Enterprise.....	55
7.3 Rodadas.....	58
7.4 Medidas de desempenho.....	58
7.5 Intervalos de confiança	59
7.6 Confiança estatística e precisão	59
7.7 Replicações	60
7.8 Amostra piloto	60
8. PRODUÇÃO DAS RODADAS E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	62
8.1 Análise da rodada 1 – Modelo estocástico atual (<i>modelo real do sistema</i>).....	63
8.2 Análise das rodadas com variações no tempo relativo de início entre águas rasas e profundas	66
8.3 Análise das rodadas com início simultâneo de águas rasas e profundas e com variações de recursos	69
8.4 Análise das rodadas com variações no tempo das atividades fazer ensaios de laboratório de águas rasas e profundas	72
8.4.1. Análise de sensibilidade para a moda e para o tempo pessimista da atividade <i>fazer ensaios de laboratório</i> para águas rasas.	75

8.5	Testes de hipóteses	78
8.6	Rodadas adicionais	79
8.7	Documentação e relatório	79
8.8	Implementação.....	79
8.9	Análise dos resultados e conclusões para a produção das rodadas.....	80
9.	CONCLUSÕES.....	83
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
11.	APÊNDICES	94
A.1	Descrição das etapas de um estudo de Simulação.	94
A.2	Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação	98
A.3	Estatísticas e gráfico de probabilidade para as rodadas.....	105
A.3.1	Rodada 2 – Modelo determinístico total.....	105
A.3.2	Rodada 3 – Modelo determinístico no tempo.....	107
A.3.3	Rodada 4 – Modelo começando o trecho de águas profundas 14 dias antes de águas rasas	109
A.3.4	Rodada 5 – Modelo começando o trecho de águas profundas 7 dias antes de águas rasas	111
A.3.5	Rodada 6 – Modelo começando o trecho de águas rasas junto com águas profundas	113
A.3.6	Rodada 7 – Modelo começando o trecho de águas rasas 7 dias antes de águas profundas	115
A.3.7	Rodada 8 – Modelo começando o trecho de águas rasas 14 dias antes de águas profundas	117
A.3.8	Rodada 9 – Modelo começando o trecho de águas rasas 20 Dias antes de águas profundas	119
A.3.9	Rodada 10 – Modelo começando o trecho de águas rasas 60 dias antes de águas profundas	121
A.3.10	Rodada 11 – Modelo com 1,5 EGF	123
A.3.11	Rodada 12 – Modelo com 2 EGF	125
A.3.12	Rodada 13 – Modelo com 3 EGF	127
A.3.13	Rodada 14 – Modelo com 1,5 EGF e 1,5 GE	129
A.3.14	Rodada 15 – Modelo com 1,5 EGF e 2 GE	131

A.3.15 Rodada 16 – Modelo com 1,5 GE.....	133
A.3.16 Rodada 17 – Modelo com 2 GE.....	135
A.3.17 Rodada 18 – Modelo com 2 EGF e 1,5 GE	137
A.3.18 Rodada 19 – Modelo com 2 EGF e 2 GE	139
A.3.19 Rodada 20 – Modelo com 3 EGF e 1,5 GE	141
A.3.20 Rodada 21 – Modelo com 3 EGF e 2 GE	143
A.3.21 Rodada 22 – Modelo estocástico com redução do tempo de fazer ensaios de laboratório para águas rasas	145
A.3.22 Rodada 23 – Modelo estocástico com redução do tempo de fazer ensaios de laboratório para águas profundas	147
A.3.23 Rodada 24 - Modelo estocástico com redução do tempo de fazer ensaios de laboratório para águas rasas e profundas simultaneamente.	149
A.4 Comparação de médias com dados emparelhados.....	151

1. INTRODUÇÃO

O Gerenciamento de Projetos é uma atividade de tamanha complexidade que não há como se abrir mão de instrumentos de tomada de decisão, baseados em um método científico (WILLIANS, 2003). Essa visão tem sido uma tendência nos últimos vinte anos (IJPM, 2010). Inúmeras iniciativas têm sido propostas, especialmente no campo da Pesquisa Operacional, com o intuito de se fornecer modelos científicos de tomada de decisão em gerenciamento de projetos (TAVARES, 2002 e WILLIANS, 2003).

Nesse contexto, a Pesquisa Operacional, por meio de sua técnica chamada Simulação, tem despertado grande interesse da comunidade científica em gerenciamento de projetos, em termos de aplicação dessa técnica como uma das mais apropriadas ferramentas para a condução de um projeto (ARTTO, 2001, CATES, 2004, JAHANGIRIAN *et al*, 2010, BANKS, 2010). O próprio PMBOK, do PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (2004), tido como um dos principais guias em gerenciamento de projetos, aborda o uso de Simulação em gerenciamento de projetos para a análise de cenários e de riscos de prazo e de custos. Deve-se ressaltar, contudo, a maneira breve com a qual expõe o assunto, restringindo-se somente à Simulação de Monte Carlo.

Diferente do que se poderia pensar, o uso de Simulação em gerenciamento de projetos é um assunto bastante antigo, datando desde o final da década de 1950, quando foi proposto, de maneira pioneira, o uso da Simulação de Monte Carlo no gerenciamento de prazo de projetos (HERBERT, 1979). Entretanto, só recentemente, esse assunto vem ganhando força, especificamente nos últimos vinte anos (IJPM, 2010). O tema ficou estagnado por muito tempo, tanto em termos de publicações, como em termos de seu próprio desenvolvimento. Contudo, com o avanço da computação, barateamento e popularização de softwares e hardwares, nos últimos vinte anos, vêm crescendo a pesquisa e o número de publicações sobre o assunto em questão (KHOSHNEVIS, 1994).

Recentemente, a aplicação da Simulação em gerenciamento de projetos vem sendo percebida como uma das mais confiáveis ferramentas para se entender o comportamento estocástico de um projeto, principalmente em termos de entendimento das interações entre as várias aleatoriedades envolvidas no projeto (LEE, 2005). Além disso, já em

meados da década de 1990, WILLIANS (1995) lembra da conveniência de contínuo desenvolvimento, via Simulação, de técnicas para se analisar o comportamento da execução de um projeto, já que as metodologias predominantes na época (particularmente, a CPM – Critical Path Method e o PERT – Project Evaluation and Review Technique) tinham um caráter excessivamente determinístico, compostas por muitas simplificações. Dentre essas simplificações, poderíamos citar: *é atribuído um valor fixo para o tempo de execução de cada atividade, não são atribuídas incertezas associadas à ocorrência ou não de uma atividade, os recursos estão disponíveis no tempo certo para as atividades, não são previstos re-trabalhos para as atividades, etc.* Essas simplificações, normalmente, geram previsões incorretas para o tempo necessário de execução de um projeto (LEE, 2005; KWAK, 2007). Por outro lado, segundo WILLIANS (1995), inúmeras aleatoriedades características no dia-a-dia de um projeto poderiam ser representadas por meio de um modelo de Simulação, constituindo-se, assim, uma ferramenta conveniente para o gerenciamento de um projeto. Dentre as aleatoriedades que um modelo de Simulação poderia representar, podemos citar: *atividades com tempos de execução segundo uma função de densidade de probabilidade, possibilidade de modelagem de re-trabalhos nas atividades do projeto, eventos probabilísticos, ramificação condicional das atividades, recursos escassos compartilhados em atividades do projeto, dedicação parcial de recursos, falhas aleatórias em máquinas, paradas aleatórias de máquinas para manutenção não programadas, etc.*

Atualmente, com base no contexto discutido, o uso de Simulação em gerenciamento de projetos já abrange discussões sobre o uso da metodologia de Simulação de Eventos Discretos, Simulação Híbrida (JAHANGIRIAN *et al*, 2010) e Simulação Virtual aplicada ao gerenciamento de projetos, WWW.wintersim.org. Assim sendo, a Simulação vem se apresentando como uma corrente metodológica em gerenciamento de projetos. Inúmeras motivações práticas, do dia-a-dia de um projeto, têm “alimentado” essa tendência. Dentre as principais, podemos citar: *gestão de risco de prazo e de custos em projetos, gestão de erros em projetos, gestão de mudanças em projetos, gestão de escopo em projetos, etc.* Entretanto, apesar do eminente desenvolvimento do assunto, persistem organizações que “fecham os olhos” para essa questão, lançando mão exclusivamente de ferramentas analíticas que, para os dias de hoje, poderiam ser

consideradas excessivamente limitadas, como a CPM (Critical Path Method) e PERT (Project Evaluation and Review Technique), (KWAK, 2007).

No trabalho em questão, será mostrado como o uso da Simulação de Eventos Discretos pode ser empregado como ferramenta de análise de cenários e de risco de prazo na condução de um projeto. Para isso, escolheu-se como estudo de caso um *projeto de levantamento de dados geofísicos e geotécnicos para lançamento de dutos submarinos na indústria de óleo & gás*. O mesmo pertence a uma empresa a qual designaremos, neste trabalho, com o nome de *Oil & Gas Enterprise*.

O presente estudo mostrará que, por meio da Simulação de Eventos Discretos, pode-se construir cenários de operação de um sistema (no caso, a execução de um projeto) com ganhos em prazo a custo zero, ou a baixo custo. No presente estudo de caso, isso será obtido, basicamente, com uma sincronização de execução entre duas etapas do projeto: uma chamada de trecho do projeto de águas rasas e a outra de trecho de águas profundas. Além disso, para a sugestão final de operação do sistema, será realizada uma análise de qual recurso, e em que nível, poderá ser o mesmo empregado, tendo como resultado o maior ganho em prazo de realização do projeto, com baixo custo adicional desse recurso.

1.1 Justificativa do estudo

O projeto de levantamento de dados geofísicos e geotécnicos para lançamento de dutos submarinos na indústria de óleo & gás é uma modalidade de projeto que tem por objetivo estabelecer as premissas de concepção para o projeto de Engenharia básica de dutos submarinos. O duto submarino é um empreendimento que interliga a produção de poços marítimos de petróleo e gás às plataformas, assim como interliga essas plataformas com terminais em terra – instalação industrial na qual o óleo passa antes de ser enviado para uma refinaria processar – (ANTAKI, 2003).

Nessa modalidade de projeto, é comum uma duração real em torno de quase um ano, segundo dados históricos. Dessa forma, justifica-se o estudo em questão, porque esse tempo é considerado muito elevado para uma modalidade de projeto de levantamento de dados. Lembrando que esse projeto não é, sequer, o projeto de Engenharia básica do duto, ou, muito menos, a construção & montagem do duto.

Além disso, não bastasse o tempo elevado de execução desse projeto, o mesmo está sujeito a uma diversidade de riscos que, no limite, pode até atrasar a partida de operação de uma plataforma. Isso pode acontecer, porque as plataformas são deslocadas para atenderem a produção de campos distintos, em locais distintos, de um momento para outro.

1.2 Objetivos

O primeiro objetivo deste trabalho é analisar e avaliar o processo que representa a execução do projeto em questão, por meio de um modelo de Simulação de Eventos Discretos, estudando cenários, a fim de se reduzir o tempo provável de execução desse tipo de projeto. Se possível, buscar-se-á cenários com ganhos em prazo à custo zero, ou próximos a zero. A Simulação foi a técnica de Pesquisa Operacional escolhida para esse estudo, pois possui grande capacidade em lidar com sistemas complexos, repletos de vários tipos de aleatoriedades (LAW, 2007), como é o caso da execução de um projeto (CATES, 2004 e WILLIANS, 2003).

Em acréscimo, diversas estratégias podem ser usadas para o estudo e melhoria do processo de execução do projeto. Duas merecem destaque especial por serem, em princípio, as que seriam usadas nesse estudo: re-formulação do processo de execução do projeto ou re-arranjar a maneira como o processo atual é executado.

Já o segundo objetivo deste trabalho relaciona-se com a hipótese sugerida por LEE (2005) e KWAK (2007). Ou seja, ao comparar-se o tempo de projeto previsto por uma ferramenta PERT/CPM com o tempo real do projeto, verifica-se que, na maioria dos casos, o tempo previsto de realização do projeto fora subestimado inicialmente (LEE, 2005; KWAK, 2007). Assim, o presente objetivo foi concebido da seguinte maneira: ao testificar que a estimativa do prazo de realização do projeto, feita por meio da ferramenta PERT/CPM, fora subestimada em relação ao prazo real de conclusão do projeto, testar se o modelo de Simulação para o sistema real conseguiria prever um prazo de projeto mais próximo ao prazo real de conclusão do mesmo.

1.3 Relevância do tema

O uso de instrumentos científicos no processo de tomada de decisões em gerenciamento de projetos vem se tornando uma exigência nas principais instituições que lidam com esse tipo de atividade. Pelo menos quando se fala em empresas sérias, comprometidas com uma boa gestão. Do contrário, pode-se atingir um nível insuportável de decisões equivocadas, as quais normalmente são feitas sem um embasamento lógico-científico, comprometendo volumes vultosos de dinheiro, esforço humano, tempo, etc.

Logo, o tema em questão torna-se relevante na medida em que se apresenta como uma alternativa em termos de um gerenciamento científico de projeto. No caso em questão, sob o ponto de vista de gerenciamento de prazo. Além disso, espera-se que este trabalho, por meio desse tema, venha a contribuir com a divulgação dessa técnica em gerenciamento de projetos, principalmente em termos de Brasil, já que apesar do assunto se apresentar como promissor, ainda é bastante incipiente em nosso país.

1.4 Estrutura e conteúdo da dissertação

O capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho, a justificativa do estudo, os dois objetivos do trabalho e a relevância do tema.

O capítulo 2 apresenta a metodologia de pesquisa de tese.

O capítulo 3 faz uma revisão dos principais conceitos relacionados à metodologia de Simulação, a partir do momento em que se decide usar essa metodologia.

O capítulo 4 faz uma revisão bibliográfica de toda a Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos, assim como justifica o uso da Simulação de Eventos Discretos para a resolução do problema apresentado.

O capítulo 5 introduz o estudo de caso da dissertação.

O capítulo 6 apresenta a construção do modelo conceitual do sistema em estudo.

O capítulo 7 apresenta a estrutura de experimentação a ser adotada para a avaliação de cenários (rodadas) e para a comparação dos mesmos, por meio de modelos de Simulação.

O capítulo 8 apresenta a produção das rodadas (cenários) e a análise das mesmas, obtendo-se as soluções de operação do sistema para a solução do problema.

O capítulo 9 apresenta a conclusão final do trabalho.

O capítulo 10 apresenta as referências bibliográficas.

O capítulo 11 apresenta os apêndices

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

O objetivo desta etapa é descrever o processo de pesquisa utilizado neste trabalho e mostrar a sistemática que foi construída para o alcance dos objetivos do trabalho em questão. Esse processo abrange desde a identificação do problema prático, que motivou o trabalho de pesquisa, até a obtenção das respostas às perguntas de pesquisa, as quais darão suporte para a resolução do problema prático.

2.1 O Processo de pesquisa

Segundo BOOTH *et al* (2008), um problema prático motiva uma pergunta de pesquisa, uma pergunta de pesquisa define um problema de pesquisa, que deve gerar uma resposta da pesquisa, a fim de que contribua para resolução do problema prático inicial. Todo esse desencadeamento pode ser resumido segundo a Figura 1.

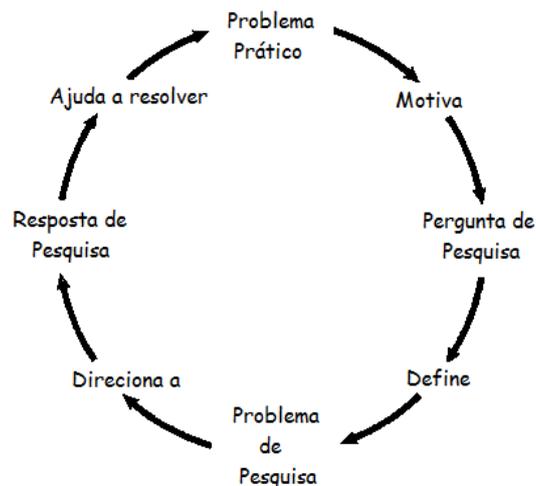


Figura 1- Relação entre um problema prático e um problema de pesquisa.

Fonte: BOOTH *et al* (2008)

Lembrando que no trabalho em questão, o problema prático (formulação do problema) identificado foi: *o projeto de levantamento de dados geofísicos e geotécnicos para dutos submarinos está sujeito a um prazo elevado, além da variabilidade desse prazo ser muito alta.*

O problema prático identificado será fracionado num conjunto de pequenos problemas (problemas de pesquisa), supostamente mais fáceis de serem pesquisados, os quais serão caracterizados quando se formular as chamadas perguntas-chaves da pesquisa. A partir dessas perguntas-chaves de pesquisa, serão geradas as palavras e expressões-chaves, as quais serão usadas para a atividade da pesquisa das fontes bibliográficas.

Assim, tendo por base a leitura dos “abstracts” dos textos encontrados, serão selecionados os que dialogam com as perguntas-chaves de pesquisa e suas informações bibliográficas serão registradas no programa “Zotero” (ferramenta específica de pesquisa), dentro do “Mozilla Firefox” (*navegador de internet que trabalha de maneira integrada com o programa Zotero*). Tomando por base a abordagem de ECO (2008), as fichas bibliográficas são organizadas em pastas temáticas, que refletem as perguntas-chaves de pesquisa.

Concluído o levantamento das fontes bibliográficas, será feita uma leitura de inspeção dos textos, lendo-se primeiramente as referências bibliográficas de cada um desses textos. Dessa maneira, buscar-se-ão fontes secundárias e até primárias que originaram a referência em questão. Depois desta fase, serão lidos a introdução, conclusão, sumário, início e fim de capítulos, segundo método de ADLER *et al* (1972). As notas iniciais sobre os textos são registradas no “Zotero”, já que possui uma customização interessante para esse tipo de trabalho.

Após a leitura inspeccional, as referências que evidenciarem condição de responder a alguma das perguntas-chaves de pesquisa serão submetidas a uma leitura analítica (ADLER, 1972), a qual possibilitará conhecer novas expressões que realimentem a pesquisa. Com base nesse tipo de leitura crítica, parte-se para tomar notas do conteúdo em fichas de leitura, adicionando comentários e observações (ECO, 2008). As fichas de leitura serão armazenadas nas notas dos registros dos textos no “Zotero” e em tabelas em arquivo no Word, devido a facilidades na consolidação. Em acréscimo, os textos ou passagens que se evidenciarem interessantes, podem conter dados de outras fontes (primárias) cujo conteúdo deverá ser pesquisado para dar credibilidade ao trabalho, entretanto, as fontes secundárias podem servir para se encontrar novos argumentos ou problemas (BOOTH *et al*, 2008). Será tomado um grande cuidado com relação à utilização de referências muito populares, tidas como fontes terciárias, as quais

apresentam visões muito simplificadas e que não devem servir de base para sustentação de argumentos (BOOTH *et al*, 2008).

Buscar-se-á construir as respostas às perguntas-chaves de pesquisa a partir de leituras sintópicas das fichas de leitura, prioritariamente, se forem suficientes, senão dos próprios textos (ADLER, 1972). Essas leituras irão dar suporte às afirmações que respondem às perguntas-chaves (as respostas da pesquisa), provendo razões ou explicações àquelas e evidências de apoio. A relação de causa e efeito entre uma afirmação e a razão que sustenta essa afirmação deve ser exposta de maneira clara, assim como as evidências que sustentam uma razão (BOOTH *et al*, 2008).

Finalmente, todas as relações de conexão citadas nos trechos anteriores e aquelas entre as seções da dissertação têm por objetivo tornar o trabalho coeso e serão registradas em fichas de trabalho (ECO, 2008) no programa “Zotero”. Assim, é percorrido todo o círculo da Figura 1, caracterizando o processo de identificação do problema prático até a sua resolução.

2.2 Perguntas-chaves da pesquisa

Por que projetos atrasam? Que causas estão associadas a esses atrasos? Como gerenciar essas causas?

2.3 Palavras-chaves da pesquisa

As palavras-chaves de pesquisa escolhidas para uma primeira busca bibliográfica, com base nas perguntas-chaves de pesquisa, foram: *projeto, risco, prazo, tempo, gerenciamento*, e o equivalente em inglês: *project, risk, time, schedule e management*.

2.4 Conclusões

Após essa primeira busca e uma posterior leitura analítica, muitos artigos no campo da Pesquisa Operacional, especialmente de Simulação, se mostraram como textos que “conversam” com as perguntas-chaves da pesquisa. Dessa forma, um novo grupo de palavras-chaves foi constituído, além das palavras anteriores, agora contemplando também as palavras Simulação, e o equivalente em inglês (Simulation), a fim de que seja feita uma nova busca bibliográfica.

Essa nova busca de referências bibliográficas, após a leitura analítica, com esse novo grupo de palavras-chaves será melhor detalhado no capítulo de Revisão Bibliográfica.

Como o campo da Pesquisa Operacional chamado Simulação se apresentou com um campo de estudo que muito conversa com as perguntas-chaves de pesquisa, achou-se por bem uma breve introdução ao assunto de Simulação no capítulo que se segue. Após essa introdução ao assunto, o capítulo seguinte de Revisão Bibliográfica irá detalhar a base de dados que sustenta esta dissertação. Assim, as respostas às perguntas-chaves de pesquisa serão dadas nesse último capítulo.

3. SIMULAÇÃO

O objetivo deste capítulo é discutir alguns conceitos fundamentais relativos ao campo da Simulação. Os conceitos são apresentados segundo visões de vários autores, muitas das vezes procurando-se apresentar as conceituações mais claras e didáticas. As conceituações em Simulação não se restringem ao que é apresentado neste capítulo, entretanto são apresentados os conceitos julgados como fundamentais para o desenvolvimento e bom entendimento deste trabalho. Escolheram-se os seguintes conceitos como sendo os mais fundamentais para a compreensão de um trabalho em Simulação: o conceito de sistema, o conceito de modelo (incluindo determinístico e estocástico), o conceito de Simulação, soluções analíticas e por Simulação e etapas em um estudo de Simulação.

3.1. O Conceito de sistema

Segundo BANKS (2010), um sistema é definido como um grupo de objetos que são postos a interagir, com uma certa regularidade, com certa interdependência, de maneira a se atingir um propósito em comum.

Para SOARES (1992), um sistema é uma coleção de itens, dentre os quais se pode encontrar ou definir alguma relação, que é objeto de estudo ou de interesse.

Por outro lado, segundo LAW (2007), um sistema é definido como uma coleção de entidades; isto é, pessoas, equipamentos, etc.; que interagem entre si, a fim de se realizar um processo lógico.

3.2. O Conceito de modelo

BANKS (2010) define um modelo como sendo uma representação de um sistema, com o propósito de se estudar o próprio sistema.

Segundo PIDD (2004), um modelo é uma representação de um sistema de interesse e é usado para investigar possíveis melhorias em um sistema real, ou para descobrir os efeitos de diferentes políticas no sistema em questão.

Já para LAW (2007), um modelo é uma suposição da realidade, constituída de relações matemáticas e lógicas, e que é usada para se entender como um sistema correspondente se comporta.

Para CHWIF (2007), um modelo é uma representação simplificada das diversas interações entre as partes de um sistema. Assim, o mesmo é uma abstração da realidade, aproximando-se do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre de maneira mais simplificada que o sistema real.

Por fim, SOARES (1992) define o conceito de modelo como sendo simplesmente uma descrição de um sistema.

3.2.1 O Conceito de modelo determinístico e de modelo estocástico

Além das definições anteriores, outros dois conceitos são de grande importância quando da definição conceitual de modelos: o conceito de *modelo determinístico* e de *modelo estocástico*.

Com relação ao primeiro conceito, os modelos determinísticos são modelos em que não há incertezas nas variáveis ou parâmetros em questão. Obviamente, esse tipo de modelo representa uma utopia no mundo real. Contudo, as aleatoriedades em um modelo podem ser tão pequenas que em alguns casos podem ser desconsideradas. E até vale a pena desconsiderá-las, já que as soluções desses modelos são muito mais simples em comparação aos modelos estocásticos. Assim, como nesses modelos assumimos que não há variabilidades relevantes, para um mesmo input (dados de entrada), têm-se os mesmos outputs (dados de saída). Como exemplo, podemos citar os modelos de programação linear e alguns modelos de controle de estoques (OAKSHOTT, 1997).

Com relação ao segundo conceito, os modelos estocásticos são modelos em que há, pelo menos, uma variável, ou um parâmetro, que possui certa incerteza. Ou seja, os valores que variável, ou um parâmetro, assume, freqüentemente, são representados por uma distribuição de probabilidade. Diferentemente dos modelos determinísticos, os modelos estocásticos não fornecem, necessariamente, os mesmos resultados de saída, quando se utilizam os mesmos dados de entrada (OAKSHOTT, 1997). Como a solução mais conveniente para esse tipo de modelo é via Simulação, é comum usar-se um jargão para

essa categoria de modelo como *modelo de Simulação*. Como exemplo dessa categoria de modelo, podemos citar modelos para estudo de filas complexas.

3.3. O Conceito de Simulação

Segundo GOTTFRIED (1984), “*A Simulação é uma atividade por meio da qual se pode obter inferências à respeito do comportamento de um sistema, por meio de um modelo correspondente, cujas relações de causas e efeitos são as mesmas que ocorrem no sistema em estudo*”.

3.4. A solução de problemas: modelos analíticos x modelos de Simulação.

De maneira geral, podemos dizer que um sistema pode ser estudado atuando-se diretamente sobre o mesmo, ou utilizando-se de um modelo. Quando optar-se por se estudar um sistema por meio de um modelo, pode-se lançar mão de um *modelo físico* ou de um *modelo matemático*, em geral. Um modelo físico seria, por exemplo, uma maquete de uma aeronave em projeto, que fora construída, a fim de se estudar o comportamento do ar fluindo em sua fuselagem em um túnel de vento. Um modelo matemático seria, por exemplo, nesse mesmo contexto, uma suposta equação que representasse o comportamento do ar fluindo ao longo dessa fuselagem.

Optando-se por se estudar um sistema por meio de um modelo matemático, pode-se resolvê-lo segundo uma *solução analítica*, conforme considerações e restrições a serem discutidas, ou por meio de uma solução por *Simulação*, ver Figura 2. Segundo LAW (2007), se o modelo matemático que representa o sistema em estudo for suficientemente simples, deve-se lançar mão de soluções analíticas, prioritariamente. OAKSHOTT (1997) define os modelos analíticos como sendo modelos que podem ser resolvidos usando-se técnicas clássicas, desde uma manipulação algébrica simples, até métodos avançados de cálculo, gerando assim as *soluções analíticas*. Esses modelos podem ser classificados ainda em determinísticos ou estocásticos. Nessa mesma linha de pensamento, CHWIF (2007) lembra que devido às características desse tipo de modelo, a solução é rápida e exata, quando existe a solução analítica.

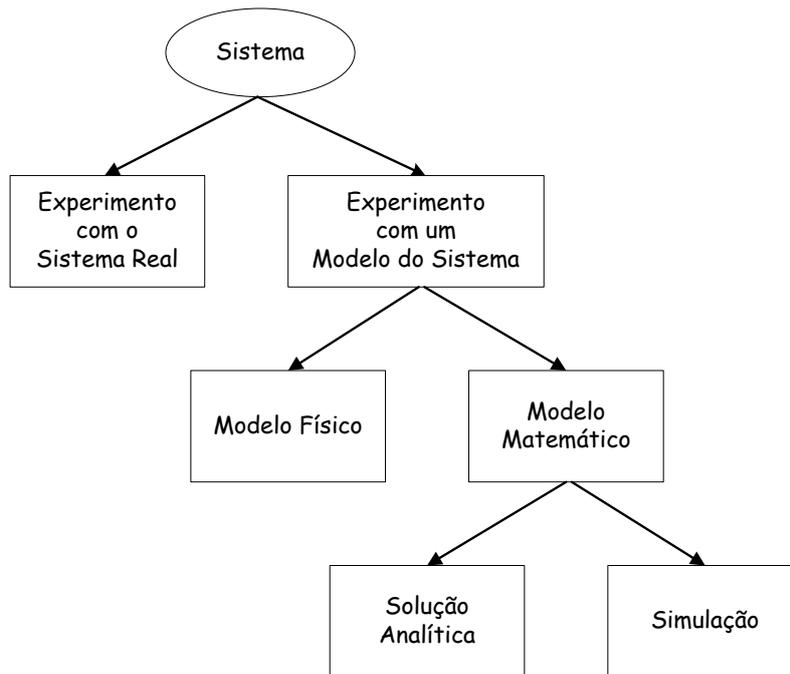


Figura 2 – Formas de se estudar um sistema

Fonte: LAW (2007)

Entretanto, segundo LAW (2007), sabe-se que a maioria dos modelos que representam os sistemas reais são complexos demais para serem resolvidos analiticamente. Além disso, OAKSHOTT (1997) ressalta que para se resolver problemas complexos do mundo real, por intermédio de modelos analíticos, normalmente é preciso fazer hipóteses simplificadoras, especialmente nos modelos analíticos estocásticos, do contrário, não se gerariam soluções analíticas. Essas simplificações, muitas das vezes, geram soluções distanciadas da realidade. Nesse caso, esses sistemas reais poderiam ser melhor estudados via Simulação, usando-se um computador para se analisar e avaliar um modelo numericamente.

Por fim, segundo GOTTFRIED (1984), praticamente qualquer problema envolvendo riscos pode ser estudado por meio da Simulação obtendo-se bons resultados. Nesse mesmo contexto, CHWIF (2007) postula que *“quanto mais complexo, dinâmico e aleatório for um problema, então, maior será a aplicabilidade das ferramentas de Simulação”*.

3.5. Etapas de um estudo de Simulação

Tendo-se definido que a Simulação será usada para a análise e estudo de um sistema, alguns passos devem ser seguidos. Existem referências bibliográficas que apontam boas sistemáticas para as etapas de um estudo de Simulação (BANKS, 2010; FREITAS FILHO, 2008; LAW, 2007; CHWIF, 2007; HARREL, 2002 e KHOSHNEVIS, 1994). Dessa forma, para o trabalho em questão, buscou-se apresentar uma síntese do que seria o melhor de cada uma dessas referências, tendo-se como base as etapas de um estudo de Simulação em BANKS (2010). Assim, a Figura 3 apresenta as 12 etapas de um estudo de Simulação. A descrição detalhada de cada etapa encontra-se no apêndice A.1

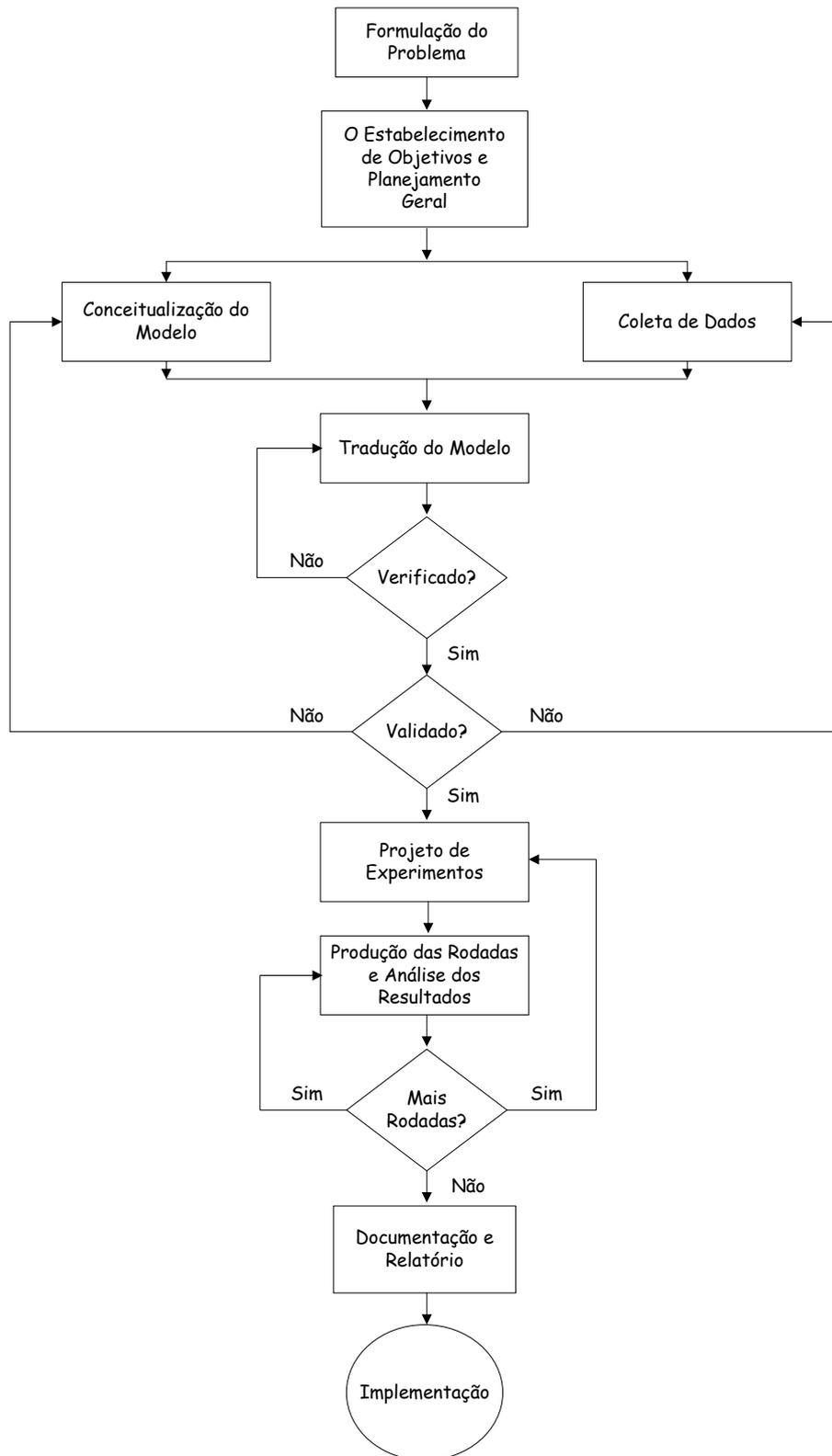


Figura 3 - Etapas de um estudo de Simulação

Fonte: BANKS (2010)

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Método utilizado:

Neste capítulo, o objetivo é mostrar um panorama sobre a *Simulação Aplicado ao Gerenciamento de Projetos* no contexto dos últimos 20 anos. São revistos marcos históricos sobre o tema, desde a proposição da aplicação da Simulação de Monte Carlo em gerenciamento de projetos, no início da década de 1960, quando se começou a perceber limitações nas técnicas CPM/PERT. Além disso, esse capítulo procura rever, de maneira breve, as principais metodologias de Simulação, bem como algumas de suas propriedades, que motivaram a aplicação da Simulação em gerenciamento de projetos.

Além disso, a pesquisa procura mapear o tema, por meio de estratificações, de maneira a proporcionar uma visão holística sobre o assunto. Como resultado final, será possível observar algumas importantes relações e tendências entre as estratificações; como a elevada utilização da Simulação de Eventos Discretos e da Simulação de Monte Carlo para a gestão de prazos e de custos, em projetos de elevados riscos, como em projetos de empreendimentos civis, projetos de desenvolvimento de softwares, de Engenharia de design e projetos da indústria de óleo & gás.

A revisão bibliográfica foi baseada nas publicações dos últimos 20 anos (de 1990 à 2010), utilizando-se de expressões-chaves, como: project management simulation; project risk; project schedule simulation; project cost simulation, e o equivalente em português. Além disso, foram levantadas algumas referências mais antigas, anteriores a 1990, que poderiam ser consideradas como marcos históricos sobre o assunto em questão.

Três bases de buscas foram utilizadas, como o <http://scholar.google.com.br/>, <http://www.scopus.com/home.url>, www.sciencedirect.com, além do site WWW.amazon.com, gerando um levantamento de 80 referências bibliográficas utilizadas neste trabalho como: livros, artigos de periódicos, artigos de conferências, teses, etc. Além disso, procurou-se consultar diretamente os jornais, revistas, conferências e autores disponíveis na internet, que foram julgados com grande potencial de cobertura do assunto referente ao tema.

No que se refere à estrutura deste capítulo, a mesma está dividido em duas partes: a primeira, uma revisão dos marcos históricos referentes a esse tema, bem como seus autores, suas abordagens e motivações; a segunda, um grupo de estratificações relativas às publicações pesquisadas sobre o tema. Com relação à segunda parte, as estratificações foram realizadas segundo os critérios¹: *metodologia de Simulação, foco de estudo, aplicações práticas, congressos, jornais e revistas, métodos auxiliares, softwares e autores*.

No que tange às estratificações, essa tarefa foi realizada com o uso do programa Zotero associado ao navegador Mozilla Firefox. Com essas duas ferramentas associadas, foi possível obter facilmente inúmeras estratificações com o Zotero através do tagging de artigos com palavras chaves, conforme o grupo de estratificações já mencionado.

4.2 Marcos históricos:

4.2.1 Monte Carlo:

Segundo HERBERT (1979), Van Slyke² propôs pioneiramente a aplicação da Simulação de Monte Carlo em gerenciamento de projetos em 1963. O mesmo teve como motivação para a nova proposição a percepção de algumas limitações nas ferramentas CPM (Critical Path Method) e PERT (Project Evaluation and Review Technique), até então, as ferramentas que prevaleciam em gerenciamento de prazo de projetos.

Essas duas técnicas consideram a execução de um projeto como uma rede de inter-relacionamentos de atividades (*network*), com tempos exatos para cada atividade. Apesar da diferença na obtenção desses tempos entre as duas técnicas, o tempo total de execução do projeto seria obtido com a soma dos tempos das atividades do caminho crítico (*critical path*).

¹ As classificações dentro de cada critério de estratificação (estratificação das estratificações) estão descritas no item 4.3, no eixo horizontal de cada gráfico de estratificação.

² VAN SLYKE, R.M., 1963, "Monte Carlo Methods and PERT Problems", *Operations Research*, v.11, nº5.

A partir da proposição de Van Slyke, começa-se a considerar fenômenos aleatórios que ocorreriam na execução de um projeto, como a aleatoriedade no tempo de execução de uma atividade. Na metodologia Monte Carlo, o tempo de execução de uma atividade comporta-se segundo uma função de distribuição de probabilidade, característica da atividade. Assim, o tempo total de execução do projeto seria obtido da seguinte maneira: geram-se valores pseudo-aleatórios dos tempos de execução das atividades, de acordo com a função de densidade de probabilidade característica de cada atividade; acha-se o caminho crítico; e somam-se os tempos das atividades que apareceram no caminho crítico na replicação da Simulação. Ou seja, conforme palavras de HERBERT (1979), o método de Van Slyke para aplicação da Simulação de Monte Carlo em gerenciamento de projetos pode ser definido como:

“(a) utilize the Monte Carlo Technique to randomly generate a sample duration for each activity from its estimated duration distribution which, need not to be BETA; (b) perform a critical path analysis on the network model using these sample durations, and record the results; (c) repeat this procedure until acceptable estimates for the time related variables of interest are obtained.”

Posteriormente, o uso da Simulação de Monte Carlo em gerenciamento de projetos também adquiriu uma preocupação voltada para a gestão de custos em projetos. Nesse tipo de abordagem, os custos associados às atividades de um projeto são caracterizados segundo uma função de densidade de probabilidade, assim como é feito para o prazo de execução de uma atividade.

4.2.2 GERT – Graphic Evaluation and Review Technique:

Em 1966, PRITSKER^{3,4} introduz a técnica GERT (Graphic Evaluation and Review Technique) que é um método de modelagem de projetos por network e de análise do modelo por Simulação. Com a introdução da técnica GERT, foi possível modelar outros tipos de incertezas, além do que a metodologia de Monte Carlo já incorporava.

³ PRITSKER, A., ALAN, B., 1966, “GERT: Graphical Evaluation and Review Technique – part I. Fundamental”, *Journal of Industrial Engineering*, v.17, n.5.

⁴ PRITSKER, A., GARY, E., 1966, “GERT: Graphical Evaluation and Review Technique – part II. Probabilistic and Industrial Engineering applications”, *Journal of Industrial Engineering*, v.17, nº6.

Dentre as novas incertezas ou aleatoriedades que foram introduzidas, destacam-se a incerteza associada a estrutura dos *networks*, atribuindo-se um comportamento estocástico ao mesmo (*stochastic network*) e a capacidade de se modelar re-trabalhos (HERBERT, 1979). Além disso, no método GERT, era possível *medir* novos tipos de indicadores, como a probabilidade de cancelamento de uma atividade já iniciada e a probabilidade de que uma atividade iria, de fato, ser iniciada. Para a época, isso era uma novidade, algo que, até então, nenhuma ferramenta proporcionava (HERBERT, 1979).

Entretanto, as limitações computacionais da época em que surgiu a GERT talvez tenha sido o grande empecilho para a difusão dessa metodologia entre as organizações. Além disso, MEREDITH *et al* (2000) lembra que a metodologia GERT lançava mão de técnicas trabalhosas de solução nas redes GERTs, como *equações de topologia, funções equivalentes e funções geradoras de momentos*. Portanto, é provável que a necessidade de aquisição de computadores de grande capacidade de processamento foi de uma dificuldade tal, que impediu a difusão dessa metodologia. Afinal de contas, não era qualquer organização que possuía recursos para adquirir computadores com grande capacidade de processamento no final da década de 1960.

4.2.3 VERT – Venture Evaluation and Review Technique:

A metodologia VERT – Venture Evaluation and Review Technique foi desenvolvida por MOELLER⁵ para avaliar riscos em novos empreendimentos (CATES, 2004). Essa metodologia segue a filosofia de modelagem de um projeto segundo um *network*. A VERT se apresentou como uma evolução da GERT, no sentido de que essa última era orientada a custo e prazo, somente, (MOELLER *et al*, 1981). Na metodologia VERT, existem três variáveis de grande importância que são atribuídas às atividades que compõem um projeto: custo, prazo e desempenho.

Segundo MOELLER *et al* (1981), “a metodologia VERT é definida como uma técnica de Simulação baseada em *network* e orientada matematicamente por computador”. A

⁵ MOELLER, G.L., 1972, “VERT”, Technical Papers: Twenty-Third Institute Conference and Convention, American Institute of Industrial Engineers.

mesma permitia o uso de até treze distribuições de probabilidade para as variáveis a serem modeladas, destacando-se, as distribuições triangular, normal e lognormal (CATES, 2004). A análise da VERT é feita via Simulação, gerando como resultado a distribuição de probabilidade para o tempo de execução de um projeto, a distribuição de probabilidade para o custo total de um projeto e informações sobre desempenho dos cenários simulados.

CATES (2004) destaca a questão do grande tempo consumido para se rodar o modelo de Simulação. Entretanto, lembra que apesar desse inconveniente, as informações geradas nos vários cenários simulados poderiam justificar a disponibilização de tanto tempo reservado para se rodar o modelo. Por exemplo, MOELLER *et al* (1981) lembra que a metodologia VERT era muito recomendável para simulação de projetos com poucas informações disponíveis sobre as alternativas concorrentes. Assim, justificava-se o emprego de tempo considerável na geração de cenários por simulação.

Apesar dessa metodologia ter surgido como uma ferramenta poderosa para o gerenciamento e estudo de cenários em projetos, essa técnica não despertou o interesse de muitos usuários organizacionais. Segundo CATES (2004), essa metodologia foi menos usada do que até mesmo a CPM, PERT e GERT. Da mesma maneira que a metodologia GERT, a VERT exigia uma enorme capacidade computacional, para uma época em que poucas organizações tinham condições de aquisição de computadores com grande capacidade de processamento.

4.2.4 SD – Sistemas Dinâmicos:

A primeira menção de aplicação de Sistemas Dinâmicos em gerenciamento de projetos apareceu na década de 1960, mas somente a partir da década de 1980 começou-se a reportar esse tipo de aplicação (RODRIGUES, 1996). Sua concepção é por intermédio de uma rede de causas e efeitos, identificando-se o que ocorre com uma variável, quando uma outra variável inter-relacionada se altera. A visão holística do sistema é que melhor caracteriza esse método. Recentemente, com o suporte cada vez mais presente de softwares, essa metodologia vem ganhando espaço.

Outro ponto importante a ser observado é que essa metodologia tem um foco muito presente em aspectos relacionados aos fatores humanos como motivação, entrosamento

com a equipe, pressão no ambiente de trabalho, etc. Todos esses muito relacionados ao dia-a-dia de um projeto. Seguindo essa mesma linha de percepção sobre as características dos Sistemas Dinâmicos, LEE *et al* (2005) propõe o uso de Sistemas Dinâmicos para a modelagem do gerenciamento de erros e de mudanças em projetos de design e de construção, o que muito tem a ver com comportamento e fatores humanos.

Além disso, um aspecto crítico no dia-a-dia de um projeto é o fluxo caótico de informações: as informações às vezes se perdem, alguém se esquece de transmitir, são transmitidas tardiamente, etc. Segundo PIDD (2004), a metodologia Sistemas Dinâmicos pode ser utilizada para a modelagem de fluxo de informações, haja vista que nessa metodologia é possível modelar peculiaridades características desse tipo de fluxo, conforme citado anteriormente.

4.2.5 SED – Simulação de Eventos Discretos:

O uso de Simulação de Eventos Discretos (SED) em gerenciamento de projetos também não é uma iniciativa nova. A utilização dessa metodologia em gerenciamento de projetos é conveniente, na medida em que a evolução de um projeto pode ser entendida como incrementos discretos de avanço do projeto no tempo. GOTTFRIED (1984) propôs o uso da SED para se resolver algumas limitações no método PERT (Project Evaluation and Review Technique). O mesmo percebeu que o uso de valores médios para a execução das atividades que compõem um projeto, como é feito na técnica PERT, é um inconveniente, na medida em que não indicaria uma possibilidade de que vários caminhos críticos poderiam ocorrer. Outra limitação percebida na PERT foi que ocorrendo um caminho crítico, essa técnica não conseguiria prever que o tempo total desse caminho crítico poderia sofrer variações, o que seria mais aderente com a realidade.

Além disso, GOTTFRIED (1984) já percebia a conveniência de se obter uma curva de distribuição de probabilidade acumulada do tempo de execução de um projeto, ao longo do tempo. Com esse instrumento, seria possível verificar, ou não, a viabilidade de execução de um projeto em um prazo específico. Por fim, GOTTFRIED (1984) percebeu que todas essas limitações identificadas na PERT poderiam ser resolvidas via Simulação de Eventos Discretos.

Mais recentemente, OTTJES *et al* (2000) propõe o uso da metodologia de Simulação de Eventos Discretos (SED) para a modelagem da execução de um projeto, a qual poderia representar os mais variados tipos de aleatoriedades, que são característicos na execução de um projeto. Dentre as aleatoriedades, destacam-se: variação no caminho crítico do projeto ao longo do tempo, bem como a variação na probabilidade de que uma atividade pertença ao caminho crítico ao longo do tempo, possibilidade de se modelar re-trabalhos e eventos probabilísticos (*stochastic network*). É claro que permanece a possibilidade de se atribuir às atividades inúmeras funções de densidade de probabilidade para o prazo e custo das mesmas, conforme as metodologias já citadas.

Uma questão de grande relevância nesse tipo de Simulação, quando o objetivo é a aplicação em gerenciamento de projetos, é a capacidade de se modelar recursos compartilhados entre atividades, janelas de folga dos recursos, atividades de um projeto que param porque seus recursos estão ocupados, etc. (WILLIANS, 1995). Todas essas características são desejáveis em uma ferramenta de gerenciamento de projetos, visto que isso acontece, de fato, no dia-a-dia de um projeto.

Reforçando o ponto de vista anterior, CATES (2004) cita várias razões para que a SED seja aplicada ao gerenciamento de projetos. Entretanto, o autor lembra que apesar das principais literaturas da atualidade em Simulação não abordar a SED em gerenciamento de projetos, o autor expõe inúmeras conveniências de tal abordagem, como os vários tipos de aleatoriedades citados anteriormente em OTTJES *et al* (2000). O autor destaca inclusive não só a recomendação técnica do uso da SED para simulação da execução de um projeto, como também lembra a facilidade de aquisição e operação de softwares com capacidade de modelagem em SED nos dias de hoje, como o ARENA.

4.2.6 Simulação Híbrida:

A Simulação Híbrida é uma metodologia de Simulação que de uma forma, ou de outra, combina duas ou mais modalidades de Simulação para o estudo de um sistema. ABOURIZK *et al* (1997), por exemplo, utilizou-se da Simulação Híbrida de Eventos Discretos – Contínuos para modelar o processo de execução de uma obra de construção de uma ponte. A Simulação de Eventos Discretos foi usada para representar o processo de avanço físico do projeto. Por outro lado, a produtividade dos trabalhadores poderia

variando de maneira contínua, já que é função das condições climáticas do local, as quais variavam diariamente, segundo dados históricos.

Assim, o estudo de caso em questão utilizou-se da propriedade desse tipo de Simulação, que é a capacidade de lidar com variáveis discretas e contínuas, a fim de representar, de maneira aderente, a execução do projeto em questão.

4.3 Estratificações e análise dos resultados:

Feita uma breve abordagem histórica sobre o tema, seguem as estratificações em termos de metodologias de Simulação, segundo as publicações levantadas. A *Simulação de Eventos Discretos (SED)* é a metodologia que teve a maior frequência em aplicações de Simulação em gerenciamento de projetos, seguidas da *Simulação de Monte Carlo* e de *Sistemas Dinâmicos (SD)*. A *Simulação Visual*, a *Híbrida*, *VERT* e *GERT* seguem em seqüência na pesquisa, ver Gráfico 1.

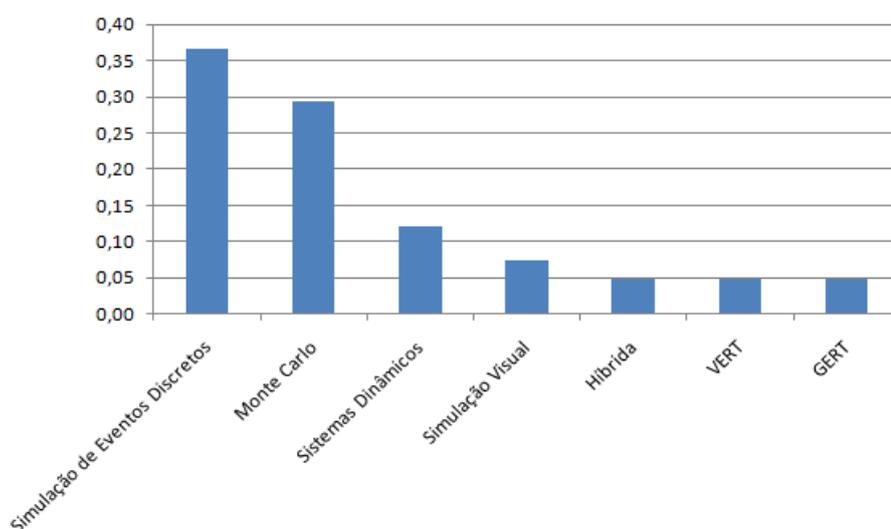


Gráfico 1 – Predominância (%) das metodologias de Simulação mais frequentes em publicações de gerenciamento de projetos.

Levantadas as metodologias de Simulação com maior incidência em gerenciamento de projetos, uma questão relevante que surge é saber quais são os focos de estudo que motivaram o uso de Simulação em gerenciamento de projetos. Na pesquisa em questão, foi verificado que o *risco de prazo*, *risco de custo* e *revisão da literatura* de Simulação aplicada a gerenciamento de projetos têm sido os principais focos. Os demais seguem conforme Gráfico 2.

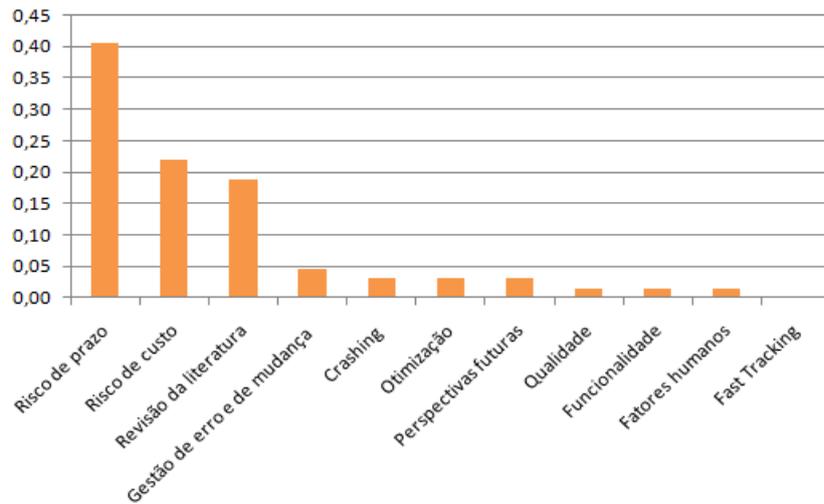


Gráfico 2 – Predominância (%) dos focos de aplicação de Simulação em publicações de gerenciamento de projetos.

Neste ponto da pesquisa, analisando as aplicações práticas, o uso de Simulação em gerenciamento de projetos ocorre com maior frequência em *projetos de empreendimentos (pontes, estradas, obras civis etc.)*, seguido de *projetos em desenvolvimento de softwares, de Engenharia de design, projetos no ramo de óleo & gás, projetos do ramo de mineração e demais*, ver Gráfico 3.

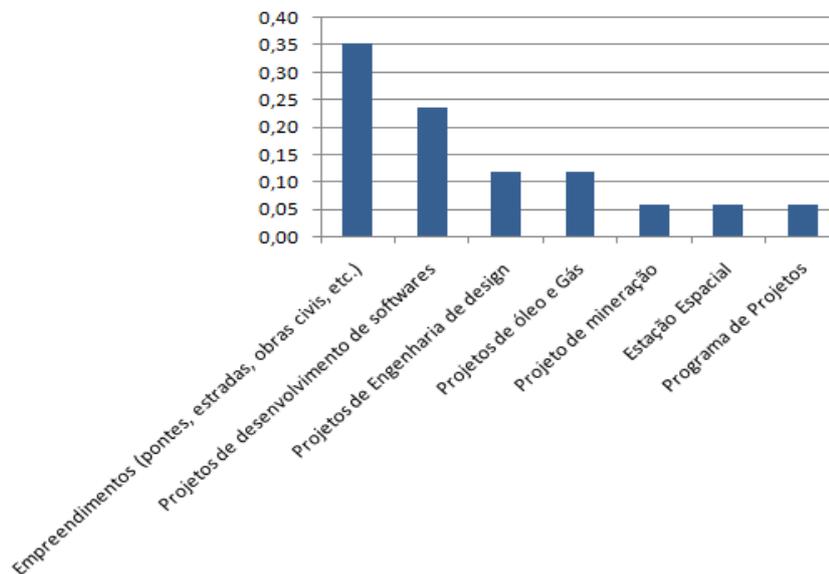


Gráfico 3 – Predominância (%) das aplicações práticas de Simulação em publicações de gerenciamento de projetos.

É interessante observar que essas categorias de projetos possuem grande preocupação com risco de prazo e de custo (WILLIANS, 1995). Simultaneamente, esses focos foram justamente os mais incidentes na pesquisa. Atrasos nesses projetos costumam implicar

grandes dispêndios financeiros, como renovação de aluguel de máquinas, como renovação para prestação de serviços especializados, etc.

Uma análise conseqüente ao que já fora até aqui discutido é saber quais as metodologias de Simulação são as mais freqüentes nos dois focos mais incidentes, que foram risco de prazo e risco de custo. Seguem os gráficos abaixo referentes às metodologias mais incidentes em função do risco de custo e de prazo, Gráfico 4 e Gráfico 5, respectivamente.

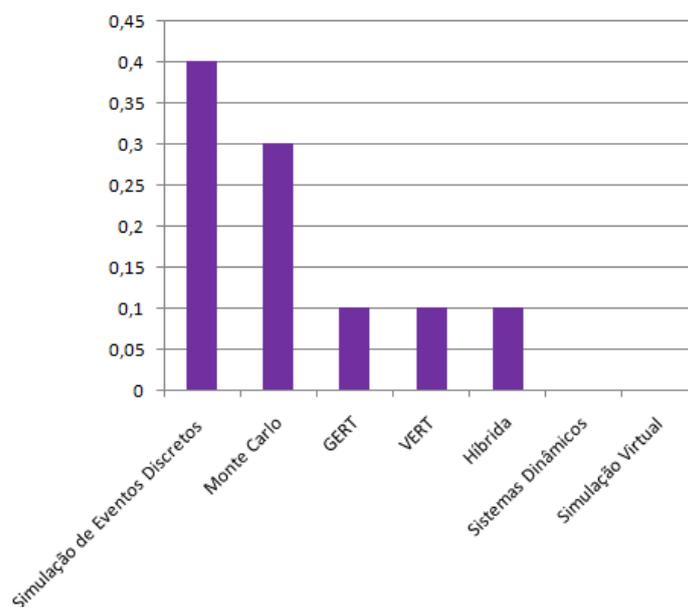


Gráfico 4 – Predominância (%) das metodologias de Simulação presentes em publicações de gerenciamento de projetos, com foco em risco de custo.

No que tange a jornais e revistas, um resultado interessante foi a maior freqüência de aplicação de Simulação em gerenciamento de projetos no *International Journal of Project Management*, seguido do *European Journal of Operational Research* e do *Computers & Industrial Engineering*. Esperava-se que um jornal de Pesquisa Operacional, de Matemática Aplicada ou de Métodos Quantitativos tivesse a maior freqüência de incidência, diferentemente do resultado da pesquisa, ver Gráfico 6.

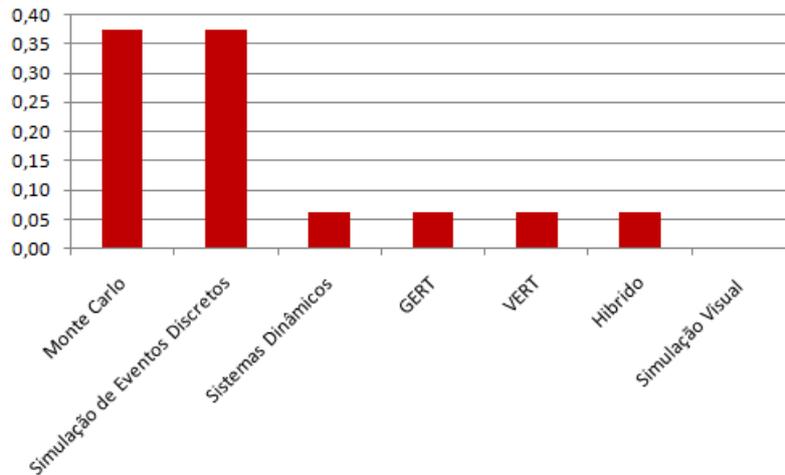


Gráfico 5 – Predominância (%) das metodologias de Simulação presentes em publicações de gerenciamento de projetos, com foco em risco de prazo.

Em seqüência, seguem os jornais / revistas: *Journal of Construction Engineering and Management*, *Applied Mathematics and Computation*, *Automation Construction*, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, *Information and Software Tecnology*, *International Journal of production Economics*, *Omega* e *Operations Research*.

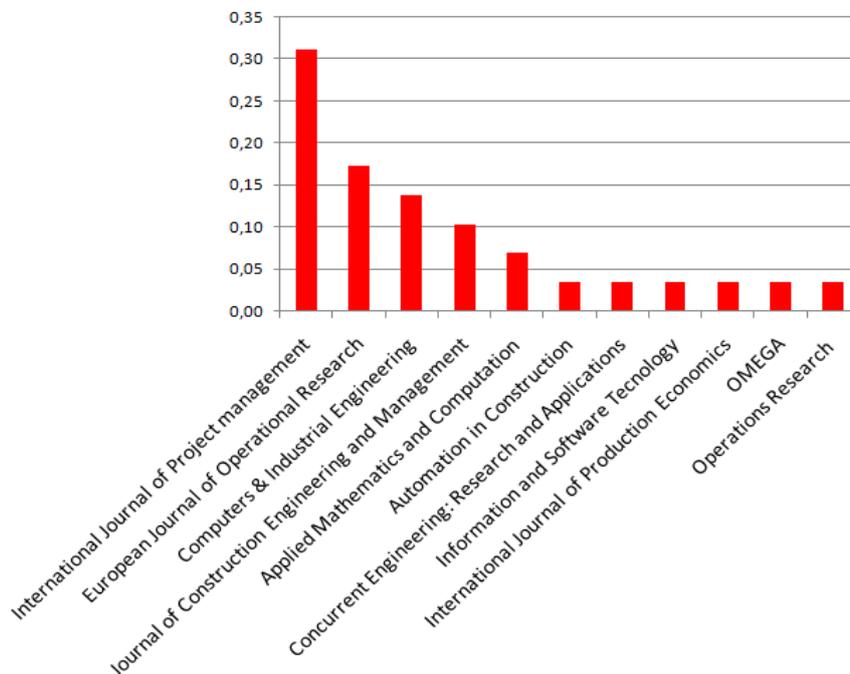


Gráfico 6 – Predominância (%) de jornais e revistas sobre publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos.

Com relação a Congressos, destaca a grande incidência de artigos de Simulação aplicada a gerenciamento de projetos no *Winter Simulation Conference* comparativamente a outros congressos como ao *ICSC Symposia on Intelligent System*, SPLOM e ENEGEP, ver Gráfico 7.

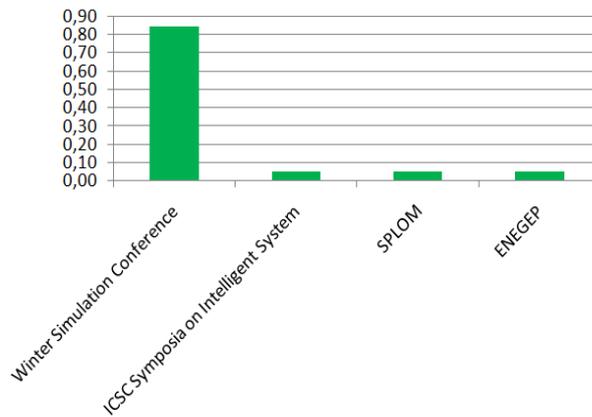


Gráfico 7 – Predominância (%) dos congressos sobre publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos.

Sob o ponto de vista de métodos auxiliares – chamaremos de métodos auxiliares alguns métodos que não são de Simulação em si, mais possuem um papel complementar em modelos de Simulação, principalmente em otimização baseada em Simulação – a ordem decrescente de incidências desses métodos em publicações de Simulação aplicada a gerenciamento de projetos foi: *Algoritmos Genéticos*, *Lógica Fuzzy*, *Métodos Heurísticos* e *Redes Neurais*, ver Gráfico 8.

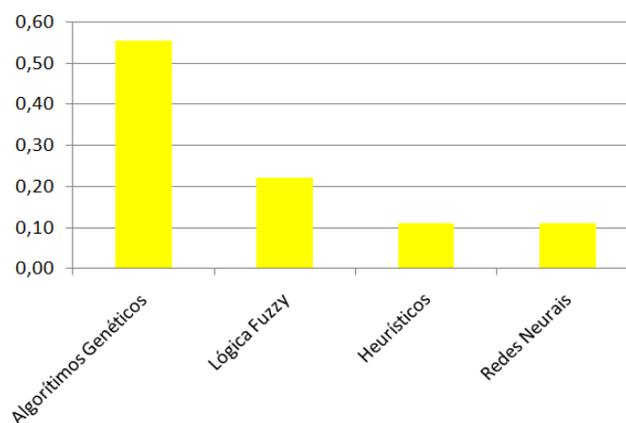


Gráfico 8 – Predominância (%) dos métodos auxiliares em publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos.

Com relação a ferramentas, os softwares mais freqüentes em Simulação aplicada a gerenciamento de projetos seguem segundo Gráfico 9. O software *Arena* foi o de maior incidência nas publicações pesquisadas, seguido do *@ Risk*. O primeiro é focado em Simulação de Eventos Discretos, Contínua ou Híbrida (Discreta-Contínua); enquanto que o segundo é voltado para Simulação de Monte Carlo (LAW, 2007).

Em seguida, aparecem os softwares *Stochastic Project Scheduling Simulation (SPSS)*, *ProcessModel* e *S3*, seguidos de outros menos freqüentes. Os três possuem como destaque a capacidade de modelagem e comparação entre diversas metodologias para gerenciamento de um projeto, como CPM, PERT e Simulação de Eventos Discretos (SED). No caso do S3, tido como uma evolução do SPSS, esse possui todas as funcionalidades do SPSS, além determinar criteriosamente o número de replicações necessário na Simulação (LEE *et al*, 2006).

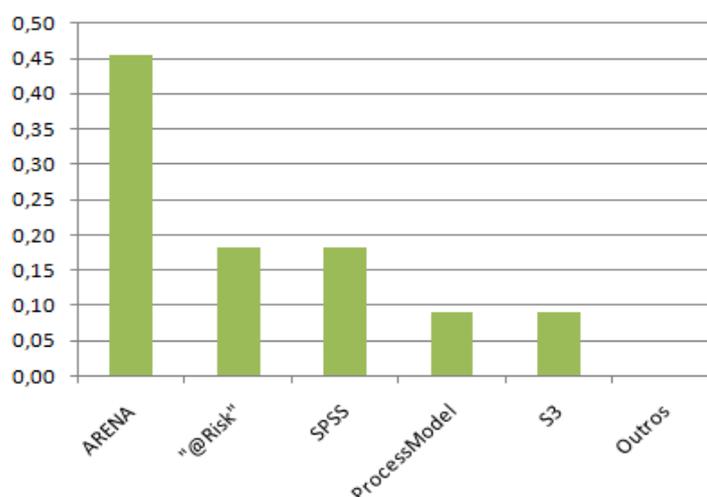


Gráfico 9 – Predominância (%) dos softwares utilizados em estudos de caso de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos.

Por fim, segue abaixo a relação dos principais autores levantados em Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos. O critério adotado foi o número de trabalhos publicados sobre o tema, ou originalidade de trabalhos divulgados. A Tabela 1 proporciona um panorama da pesquisa sobre um determinado autor dentro do tema *Simulação Aplicada ao Gerenciamento de Projetos*, ver coluna *palavras-chaves*, na tabela em questão.

Tabela 1 – Principais autores em Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos.

Principais autores no tema - por inovação no assunto ou freqüência de publicações			
Autor	E-mail	Universidade / Instituição	Palavras chaves no tema
Dong-Eun Lee	dolee@siue.edu	Southern Illinois University	Empreendimentos, SPSS, S3.
Mohsen Jahangirian	tillal.eldabi@brunel.ac.uk	Brunel University	Revisão da Literatura.
Grant R. Cates	grant.r.cates@nasa.gov	University of Central Florida	Simulação de Eventos Discretos, risco de prazo, projeto da estação espacial internacional, ARENA
Michael E. Kuhl	Michael.Kuhl@rit.edu	Rochester Institute of Technology	Crashing, risco de prazo e de custo e otimização.
Radhamés Tolentino	radhames.tolentino@mail.rit.edu	Rochest Institute of Technology	Crashing, risco de prazo e de custo, otimização
Leroy F. Simmons	e-mail não encontrado	Loyola College of Maryland	Risco de prazo e ProcessModel.
Jaap A. Ottijes	J.A.Ottijes@wbmt.tudelft.nl	Delf University of Technology	Risco de prazo e de custo.
Hans P.M. Veeke	H.P.M.Veeke@wbmt.tudelft.nl	Delf University of Technology	Risco de prazo e de custo
Terry Williams	t.williams@soton.ac.uk	University of Southampton	Revisão da literatura, risco de prazo e de custo.
Lionel Galway	e-mail não encontrado		Revisão da literatura, risco de prazo e de custo.
Kenzo Kurihara	kurihara@kurilab.ie.kanagawa-u.ac.jp	Kanagawa University	Risco de prazo e de custo, Monte Carlo, GERT.
Carlos Magno C.	cmcj@petrobras.com.br	PETROBRAS	Simulação de Eventos Discretos, risco de prazo e de custo, projetos de óleo & gás, ARENA.
Brenda McCabe	mccabeb@civ.utoronto.ca	University of Toronto	Empreendimentos, Monte Carlo, risco de prazo e de custo.
Simaan M. AbouRitz	e-mail não encontrado	University of Alberta	Empreendimentos, Simulação Híbrida, risco de prazo, Redes Neurais.
Karlos A. Artto	karlos.artto@hut.fi	Helsinki University of Technology	Simulação de Eventos Discretos, projeto de desenvolvimento de software, risco de prazo, funcionalidades.
Juha-Matti Lehtonen	juha-matti.lehtonen@hut.fi	Helsinki University of Technology	Simulação de Eventos Discretos, projeto de desenvolvimento de software, risco de prazo, funcionalidades.

Juha Saranen	Juha.saranen@hut.fi	Helsinki University of Technology	Simulação de Eventos Discretos, projeto de desenvolvimento de software, risco de prazo, funcionalidades.
Undram Chinbat	eplanner9999@yahoo.com	Nagota University	Simulação de Eventos Discretos, projeto de mineração, risco de custo, ARENA.
Andreas C. Georgiou	acg@uom.gr	University of Macedônia	Simulação de Eventos Discretos, projeto de desenvolvimento de software, Simulação Híbrida, risco de prazo, qualidade.
Young Hoon Kwak	kwak@gwu.edu	George Washinton University	Revisão da literatura, Monte Carlo, risco de prazo e de custo.
Sang Hyun Lee	Ish@mit.edu	Massachusetts Institute of Technology	Sistemas Dinâmicos, empreendimntos, gestão de erro e de mudança.
Feniosky Peña-Mora	feniosky@uiuc.edu	University of Illinuos	Sistemas Dinâmicos, empreendimntos, gestão de erro e de mudança.

4.4 Conclusões:

Após o desenvolvimento da pesquisa, foi possível perceber como a metodologia de Simulação de Eventos Discretos e a Simulação de Monte Carlo vem sendo freqüentemente empregada em publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos. Pode-se inferir que tais aplicações visam, principalmente, ao gerenciamento de riscos de prazo e de custos para projetos considerados de elevados riscos. Contrariamente a essa tendência, as principais referências na literatura de Simulação e de Análise de Riscos restringem-se a mencionar, apenas, o uso da Simulação de Monte Carlo nesse tipo de estudo (CATES, 2004).

Com relação às aplicações práticas, os projetos de empreendimentos civis, projetos de desenvolvimento de softwares, de Engenharia de design e projetos da indústria de óleo & gás são os tipos de projetos que têm sido alvo de inúmeras publicações, para se gerenciar especialmente riscos de prazo e de custos. Não é por acaso esse fato, haja

vista que esses tipos de projetos incorrem em elevados custos quando dá má gerência dos seus riscos, WILLIANS (1995).

No que tange a jornais e revistas, a conclusão relevante foi a maior predominância de publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos no *International Journal of Project Management*, seguido do *European Journal of Operational Research*. Entretanto, esperava-se que a maior frequência de publicações ocorresse em um jornal de Pesquisa Operacional, de Matemática Aplicada ou de Métodos Quantitativos. Esse fato pode sugerir que a Simulação em gerenciamento de projetos é, de fato, uma necessidade, haja vista que é a comunidade em gerenciamento de projetos que vem lançando mão dessa técnica para solução de problemas em sua área de pesquisa, e não uma iniciativa de entusiastas pela metodologia de Simulação.

Em termos de congressos, destaca-se a elevada predominância de publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos no *Winter Simulation Conference*, particularmente no diretório *Construction Engineering and Project Management*. Com relação aos outros congressos, pode-se dizer que os mesmos assumem um papel secundário com relação a esse tipo de publicação, pelo menos em termos de quantidade de publicações sobre o tema.

Outro resultado interessante foi uma maior incidência de uso do software ARENA, em relação ao @ Risk, nas publicações de Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos. Esse resultado era um tanto inesperado, pois o @Risk tem a capacidade de uso conjunto com softwares tradicionais de gerenciamento de projetos, como o MS Project. Contudo, a disponibilidade de inúmeras funcionalidades do ARENA pode explicar a elevada frequência de uso dessa ferramenta, como a capacidade de se modelar prazos e custos de atividades por funções de densidade de probabilidade, capacidade de se modelar re-trabalhos, eventos probabilísticos, processos de decisões, etc. (CATES, 2004). Ainda em relação aos softwares, destaca-se o aparecimento de softwares de Simulação voltados especificamente ao gerenciamento de projetos, como o *Stochastic Project Scheduling Simulation* – SPSS, S3.

Um assunto incipiente, mas que pode ser o futuro quando se pensa no tema da Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos é o uso da realidade virtual, ou Simulação Virtual (Virtual Simulation). Essa metodologia de Simulação vem sendo

testada em projetos de empreendimentos civis e em projetos na indústria de óleo & gás para simular a constructibilidade⁶ em obras e em plantas industriais. Esse assunto é de extrema relevância, quando se está na fase de planejamento das obras, pois se pode antecipar problemas futuros relativos a execução de um empreendimento.

Por fim, após essa revisão bibliográfica, com a leitura sintópica⁷ das bibliografias (ADLER, 1972), é possível respondermos às perguntas-chaves de pesquisa:

Por que projetos atrasam? Dentre inúmeras razões, uma é a presença de diversas aleatoriedades envolvidas no dia-a-dia de um projeto. Dessa forma, a presença das mesmas pode fazer com que o prazo previsto para a execução do projeto seja muito diferente do prazo real de execução. Dentre essas diversas aleatoriedades, podemos citar: incertezas envolvidas no tempo de execução de uma determinada atividade; incertezas envolvidas na disponibilidade de recursos no tempo certo e na hora certa, eventos probabilísticos, processos de decisões, etc.

Que causas estão associadas a esses atrasos? Dentre inúmeras causas possíveis, uma é a não consideração dessas aleatoriedades nas ferramentas que são utilizadas para se prever o prazo de um projeto. Isso pode acontecer por mera limitação da ferramenta em modelar essas aleatoriedades. Com isso, pode-se comprometer a precisão da previsão desse prazo.

Como gerenciar essas causas? Por meio de modelos de Simulação para se representar o sistema real, já que é uma excelente ferramenta para modelar e lidar com aleatoriedades. Aliás, essa é a razão pela qual as ferramentas em gerenciamento de projetos vêm evoluindo de simples ferramentas analíticas de lógica PERT/CPM até modelos de Simulação. Esses últimos com inúmeras funcionalidades capazes de incorporar diversos tipos de aleatoriedades.

⁶ Constructibilidade: É o estudo dos aspectos construtivos, logísticos e de acesso físico referentes ao ambiente caótico de uma obra.

⁷ Em resumo, essa modalidade de leitura procura verificar como é o posicionamento de diversas referências bibliográficas e autores, num campo de conhecimento, em relação a um tema específico.

Dessa forma, está justificado o uso de Simulação para o estudo de caso em questão. Particularmente, será usada a Simulação de Eventos Discretos para a análise de cenários e de risco de prazo do projeto em questão. Isso, em função de ser a modalidade de Simulação com o maior número de considerações e funcionalidades disponíveis e aplicáveis ao gerenciamento de prazo de um projeto. O software escolhido é o ARENA 12.0.

5. O PROJETO DE LEVANTAMENTO DE DADOS GEOFÍSICOS E GEOTÉCNICOS PARA LANÇAMENTO DE DUTOS SUBMARINOS

O projeto a ser simulado pode ser resumido como sendo um *projeto de levantamento de dados geofísicos e geotécnicos* do trecho onde se pretende implementar o empreendimento de dutos submarinos. A importância desse projeto refere-se ao fato de que o mesmo irá subsidiar o *projeto de Engenharia básica de dutos submarinos*. Após esse último, inicia-se a implementação do duto submarino, propriamente dito, no leito marinho.

O projeto em questão é dividido em dois trechos: o levantamento de dados em lâmina d'água inferior a 200 m, e o levantamento do trecho de lâmina d'água acima de 200m. Para efeito deste trabalho, chamaremos o primeiro trecho de águas rasas e o segundo de águas profundas. Cada trecho de levantamento é executado por uma empresa subcontratada diferente, as quais designaremos como empresas A e B, respectivamente. No caso da análise de amostras do solo marinho em laboratório, existe apenas um único laboratório que analisa e emite o relatório de Geotecnia, tanto para a lâmina d'água menor que 200 m, quanto para a maior que 200m. Chamaremos esse laboratório de subcontratada C.

O projeto inicia-se com uma proposição de rota para o duto no leito submarino, tanto para o trecho de águas rasas quanto para o de profundas. Dependendo das condições do leito submarino, o *projeto de levantamento de dados geofísicos e geotécnicos* precisa ajustar uma rota em que se ofereçam condições de adequadas de Engenharia (Geofísica e Geotecnia) para subsidiar o projeto básico de dutos submarinos. Essas condições adequadas de Engenharia precisam ser atendidas tanto para o trecho de lâmina d'água menor que 200 m, quanto para o trecho de lâmina d'água acima de 200m.

Segundo PALMER (2008), uma das primeiras atividades de um projeto de implementação de um duto submarino é definir uma rota para o mesmo. Uma escolha inicial mal feita, ou seja, pouco criteriosa, pode implicar dispêndios financeiros e atrasos incontornáveis. Mesmo em áreas já desenvolvidas com esse tipo de atividade, vários fatores são determinantes na escolha de uma rota de dutos. Dentre os mesmos, podemos destacar: o político, o de meio-ambiente, instalações petrolíferas pré-existentes, malhas existentes de dutos, presença de região pesqueira, presença de área

mineradora, etc. Em termos de Engenharia, uma escolha racional de uma rota de um duto submarino não pode ser feita sem o conhecimento da Geofísica marinha e da Geotecnia (PALMER, 2008).

A Figura 4 mostra a proposição de rota inicial, assim como o levantamento (Geofísico ou Geotécnico) sendo realizado, ver de cima para baixo, da esquerda para a direita. Observar que os levantamentos são feitos longitudinalmente em relação à rota proposta para a implementação dos dutos. O elemento em azul representa a embarcação se deslocando para fazer os levantamentos.

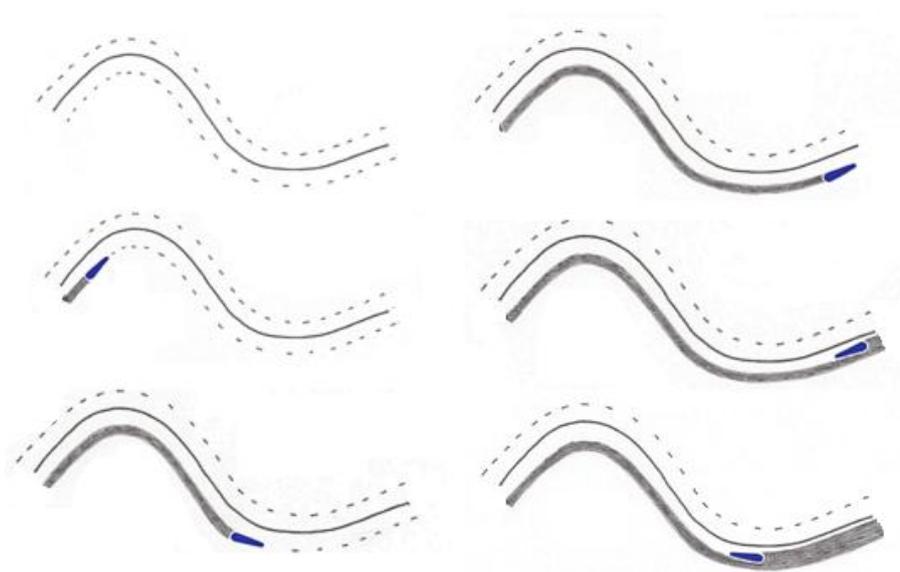


Figura 4 – Proposição esquemática de rota para o levantamento de dados

A Figura 5 mostra a proposição de uma rota nova, em função de inadequações de Engenharia na rota originalmente proposta.



Figura 5 – Desvio de rota

O levantamento de dados geofísicos é composto por três tipos de estudos: Batimetria, Side Scan Sonar e Sub Bottom Profile, independentemente do tipo de lâmina d'água. No caso do levantamento em lâmina d'água menor que 200 m, esses três estudos são feitos por equipamentos dispostos em um único navio equipado especialmente para essa finalidade. No caso do levantamento de dados geofísicos em lâmina d'água maior que 200 m, os três tipos de estudos são realizados por um equipamento chamado AUV (espécie de torpedo). A etapa de Geofísica é concluída quando é emitido o relatório de Geofísica consolidado, etapa *Emitir relatório de Geofísica*, ver Figura 6.

Terminada a etapa de Geofísica, as informações emitidas no *relatório de Geofísica* “alimentam” a Geotecnia com um mapa de sonar, a fim de que esse último possa subsidiar a escolha de alocação de pontos para a coleta de amostras do solo marinho, de maneira eficiente. Essa coleta de amostras é feita para os dois trechos de lâmina d'água. A etapa de Geotecnia é concluída quando da emissão dos relatórios internos de Geotecnia, um para o trecho de lâmina d'água inferior a 200m e o outro para o trecho de lâmina d'água superior a 200m, etapas *Emitir relatório interno de Geotecnia para o trecho de águas rasas* e outro para profundas, ver Figura 6.

O projeto se encerra quando da ocorrência do marco de projeto chamado *Consolidar informações dos relatórios para projeto de dutos submarinos*, ver Figura 6. Esse marco consiste na disponibilização conjunta dos relatórios de Geofísica (consolidado para águas rasas e profundas) e os relatórios de Geotecnia para águas rasas e profundas respectivamente.

6. MODELAGEM

A presente etapa é composta pela criação do modelo conceitual do sistema; a coleta de dados com e sem registro histórico; verificação do modelo e validação do modelo. Cada etapa a ser detalhada no seu respectivo item.

6.1 Criação do modelo conceitual

O modelo conceitual adotado está representado na Figura 6. A mesma representa o processo de execução do projeto, bem como os “atores” envolvidos na execução do mesmo (empresas sub-contratadas A, B e C; assim como a empresa promotora do projeto: *Oil & Gas Enterprise*). Por meio de uma legenda colorida, é possível localizar onde cada ator participa na execução desse projeto, com o seu respectivo pessoal, maquinário e expertise. Observar que o lado esquerdo do fluxograma do modelo conceitual é idêntico ao lado direito. A única diferença é que o lado esquerdo representa o trecho de águas rasas e o lado direito o trecho de águas profundas.

As atividades são representadas por retângulos e os processos de decisões por losângulos. Os possíveis re-trabalhos são representados por fluxos que retornam a etapas anteriores, assim como o avanço físico do projeto é representado pelos fluxos de atividades, de cima para baixo.

	Sub-contratada A de lâmina d'água < 200m
	Sub-contratada B de lâmina d'água > 200 m
	Sub-contratada C do laboratório
	Oil & Gás Enterprise

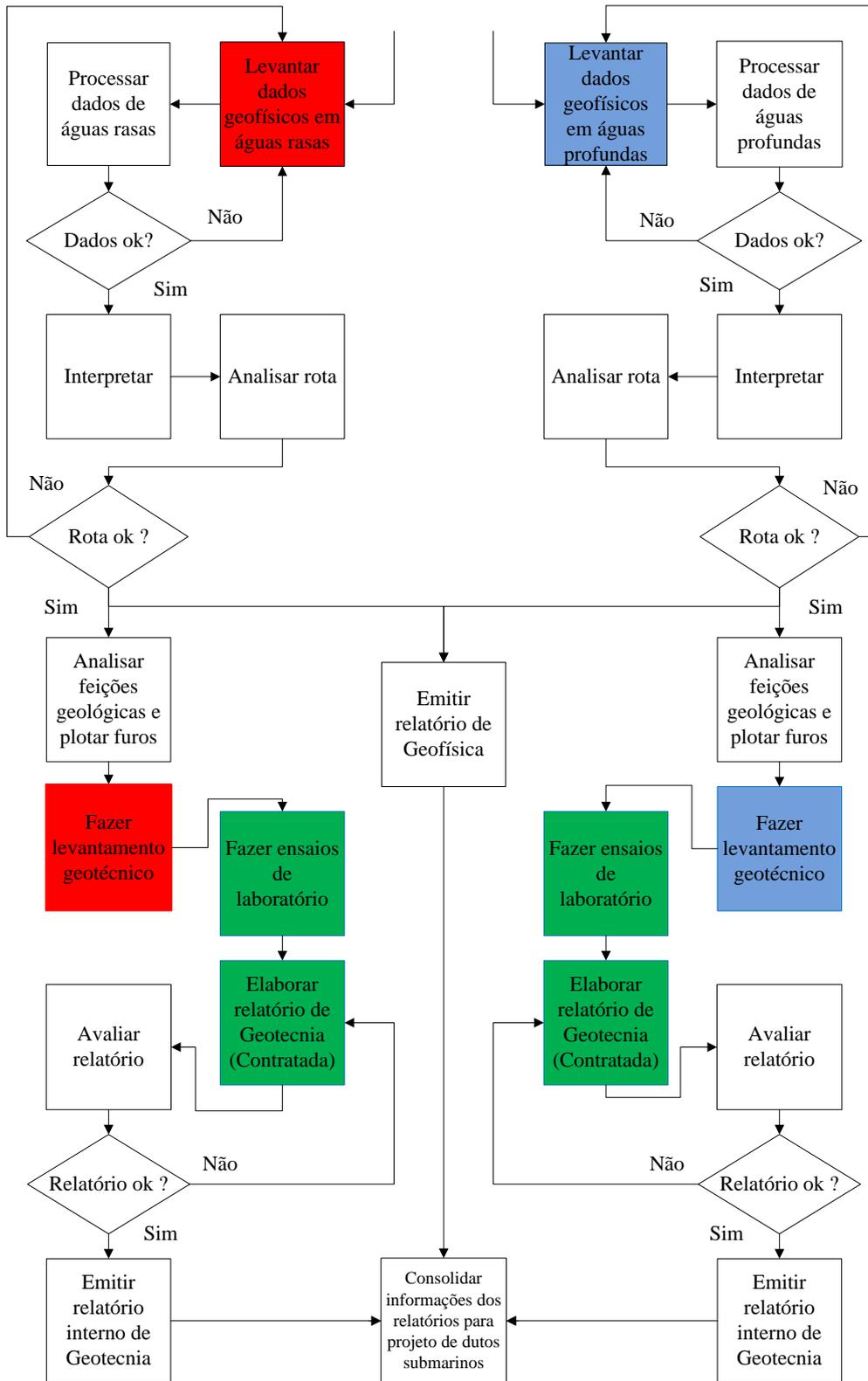


Figura 6 – Modelo conceitual do projeto de levantamento de dados geofísicos e geotécnicos para dutos submarinos.

A Figura 7 representa o trecho de Geofísica para o projeto. O lado esquerdo da figura, simétrico em relação ao lado direito, representa a Geofísica para águas rasas, enquanto que o direito representa a Geofísica para águas profundas.

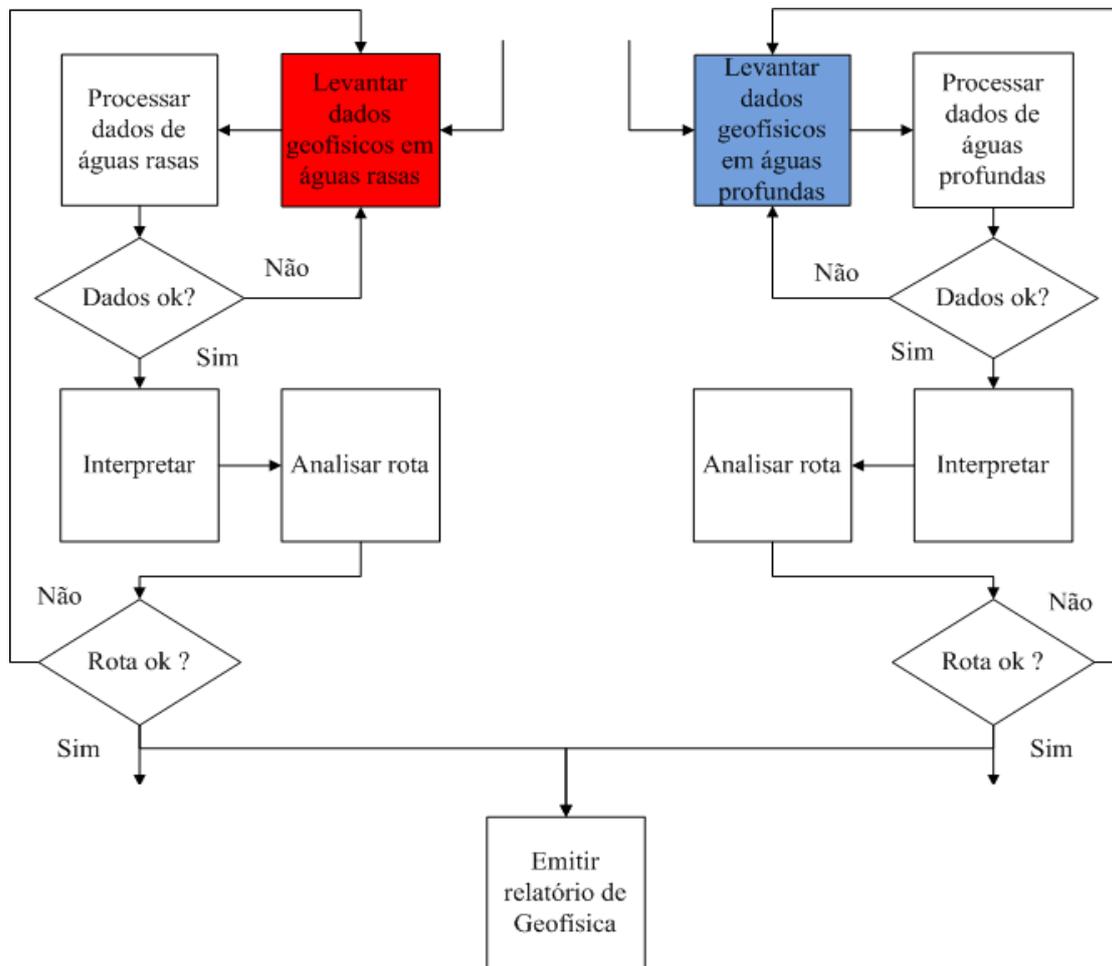


Figura 7 – Modelo conceitual do trecho de Geofísica

Analogamente, a Figura 8 representa o trecho de Geotecnia para o projeto. O lado esquerdo da figura, simétrico em relação ao lado direito, representa a Geotecnia para águas rasas, enquanto que o direito representa a Geotecnia para águas profundas.

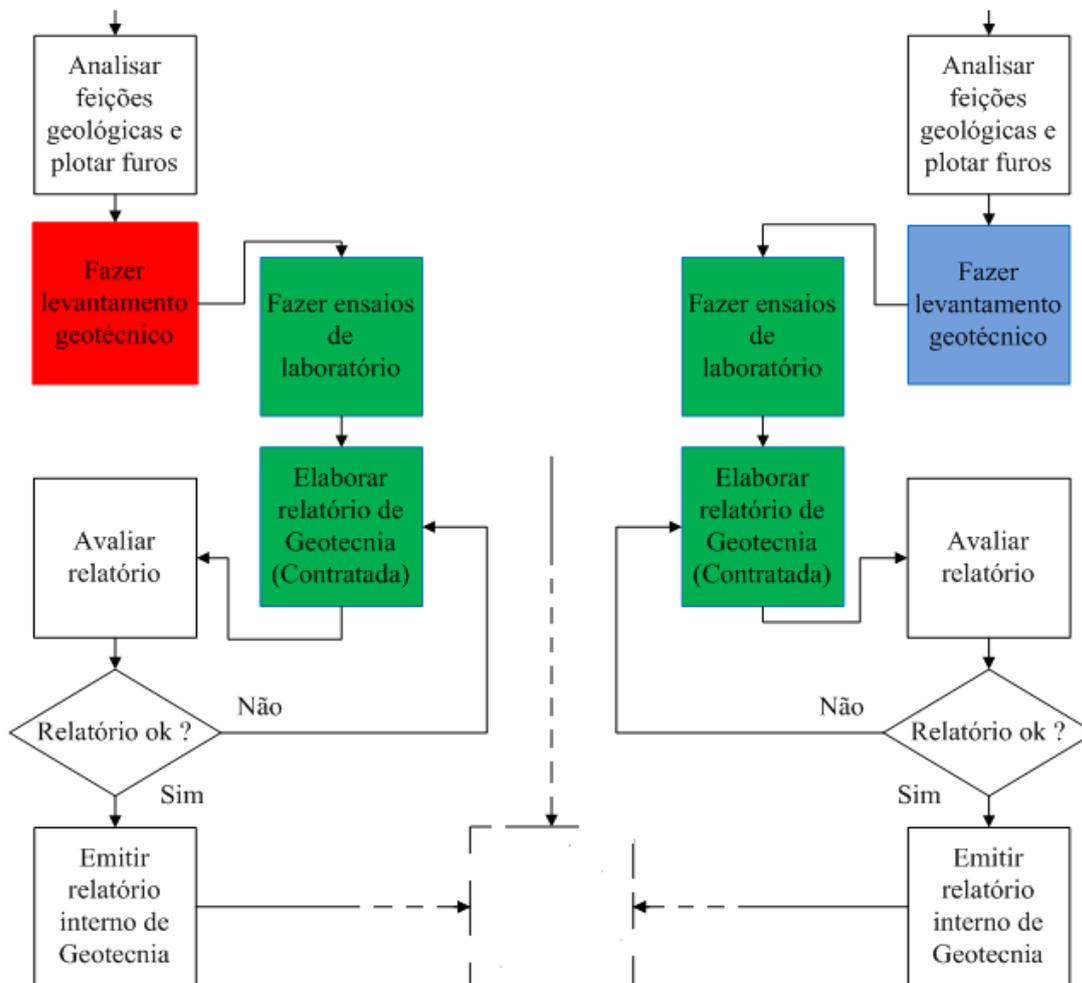


Figura 8 – Modelo conceitual do trecho de Geotecnia

6.2 Coleta de dados

Os dados de entrada podem ser divididos em dois grupos: o primeiro grupo é representado pelos dados que possuem registro histórico, enquanto que o segundo grupo é representado por dados que não possuem registro histórico, mas que puderam ser coletados segundo a técnica de *consulta aos especialistas*, ou *Expert Options*, (BANKS, 2010). Os dados de entrada para os dois tipos de grupos são apresentados adiante.

6.2.1 Dados de entrada com registro histórico:

O primeiro grupo é composto por quatro tipos de informações históricas: frequência de re-trabalho para a atividade *Levantar dados Geofísicos* (para as duas categorias de lâmina d'água); taxa de re-trabalho para a etapa *Levantar dados Geofísicos* (para as

duas categorias de lâmina d'água); taxa de reprovação do relatório de Geotecnia da empresa sub-contratada e tempo de re-trabalho do relatório de Geotecnia da empresa sub-contratada.

Com relação à frequência de re-trabalho para a atividade de *Levantar dados Geofísicos*, os dados históricos mostram que em 100% das vezes em que essa atividade é executada é preciso fazer novos levantamentos, especialmente porque o traçado pretendido para o duto não atende a requisitos mínimos de Engenharia.

Em relação à taxa de re-trabalho para a atividade *Levantar dados Geofísicos*, os dados históricos mostram que essa taxa está em torno de 50 % do total de km levantados. Ou seja, verificada a necessidade de levantar dados de mais trechos do solo marinho, em virtude da necessidade de se desviar a rota pretendida para o duto, o total adicional de trecho levantado gira em torno de 50 % do que fora levantado inicialmente, segundo dados históricos.

No que tange à taxa de reprovação do relatório de Geotecnia da empresa sub-contratada, os números são: 39 % de reprovação na primeira emissão (revisão 0) e 7, 4 % de reprovação na segunda emissão (revisão A).

Por fim, no que se refere ao tempo de re-trabalho do relatório de Geotecnia da empresa sub-contratada, os números são 5, 7 e 10 dias, para os tempos otimista, moda e pessimista, respectivamente.

Ainda com relação ao primeiro grupo de dados, segue a Tabela 2 com as informações sobre as principais entidades envolvidas no projeto. Uma observação importante é que existem dois Geofísicos alocados ao projeto, mas a dedicação de ambos ao projeto gira em torno de uma taxa de 50%.

Tabela 2 – Entidades envolvidas nas atividades do projeto

Principais Entidades Envolvidas no Projeto				
	Lâmina menor que 200 m (águas rasas)		Lâmina maior que 200 m (águas profundas)	
Atividades	Entidade	Quantidade	Entidade	Quantidade
Levantar dados Geofísicos	Navio Rasas	1	Navio Profundas	1
			AUV	1
Processar dados	Geofísico (GE)	2 (50%)	Geofísico (GE)	2 (50%)
Interpretar	Geofísico (GE)	2	Geofísico (GE)	2
Analisar rota	Geofísico (GE)	1	Geofísico (GE)	1
	Engenheiro de dutos (ED)	1	Engenheiro de dutos (ED)	1
Emitir relatório de Geofísica	Entidade		Quantidade	
	Geofísico (GE)		2	
Atividades	Entidade	Quantidade	Entidade	Quantidade
Analisar feições geológicas e plotar furos	Engenheiro Geotécnico (EG)	1	Engenheiro Geotécnico (EG)	1
Fazer levantamento Geotécnico	Navio Rasas	1	Navio Profundas	1
Fazer ensaios de laboratório	Técnicos de laboratório (TL)	1	Técnicos de laboratório (TL)	1
Elaborar relatório de Geotecnia (contratada)	Engenheiro Geotécnico (EGC)	1	Engenheiro Geotécnico (EGC)	1
	Assit. Técnico (AT)	1	Assit. Técnico	1
	Técnico de Laboratório (TL)	1	Técnico de Laboratório	1
Avaliar relatório	Engenheiro Geotécnico Final (EGF)	1	Engenheiro Geotécnico Final (EGF)	1
Emitir relatório interno de Geotecnia	Engenheiro Geotécnico Final (EGF)	1	Engenheiro Geotécnico Final (EGF)	1
Consolidar informações dos relatórios para projeto de dutos submarinos	Esta etapa é o marco final do projeto: recebimento dos três relatórios (Relatório interno de Geotecnia de lâmina menor que 200m, Relatório interno de Geotecnia de lâmina maior que 200 m, Relatório de Geofísica.)			

6.2.2 Dados de entrada sem registro histórico:

O segundo grupo é composto pela descrição dos recursos utilizados no projeto, assim como dos tempos de execução de cada atividade que compõe o projeto. Como não existem dados históricos registrados, a técnica para levantamento dessas informações foi a de *Consulta aos Especialistas*, ou *Expert Options* (BANKS, 2010).

Essa técnica é caracterizada pela consulta direta aos especialistas que possuem grande experiência na realização de uma determinada atividade do projeto. É solicitada uma estimativa razoável para os tempos otimista, moda e pessimista para cada atividade desse projeto, segundo definição dos mesmos na Estatística. Após a coleta desses tempos, atribui-se para cada atividade uma distribuição triangular no modelo de Simulação (BANKS, 2010), já que é uma das melhores distribuições que se pode atribuir quando não se possui dados históricos (CHWIF, 2007). Lembrando que com relação às atividades do projeto, não há dados históricos para a realização de uma *Análise de Aderência*⁸, a fim de se atribuir uma *função de densidade de probabilidade*⁹ significativa para o tempo de execução de cada atividade, baseada em dados históricos.

Como em qualquer modelo de Simulação, um ponto importante a ser lembrado refere-se à necessidade de se garantir que os números *pseudo-aleatórios* gerados tenham como propriedade ser estatisticamente independentes, assim como sejam representados por uma função de densidade de probabilidade uniformemente distribuída ($\sim U[0,1]$). Como estaremos utilizando o software ARENA 12.0, o próprio software estará gerando esses números *pseudo-aleatórios* com as propriedades necessárias.

⁸ Análise de Aderência – É um estudo que por meio de um Teste de Aderência se verifica uma hipótese sobre a distribuição de probabilidade da população de uma amostra. Ou seja, admite-se que a variável de interesse na população seja descrita por uma determinada distribuição de probabilidade e verifica-se posteriormente a boa ou má aderência dos dados da amostra ao modelo de distribuição de probabilidade proposto, sob um certo nível de significância. Existem três métodos de realização desse teste: Método (χ^2), Método de Kolmogorov-Smirnov e Método Gráfico (NETO, 2002).

⁹ Função de densidade de probabilidade – É uma função matemática atribuída a uma variável aleatória contínua, em que se obtém a probabilidade de ocorrência da variável em um certo intervalo, pela área definida por esse mesmo intervalo e a referente função. Essa função matemática tem valor de área igual a um para o intervalo que compreende todo o domínio da função.

Assim, a Tabela 3 apresenta os tempos para cada atividade no projeto, de acordo com o nível de recursos utilizado, conforme a Tabela 2.

Tabela 3 – Tempos de execução das atividades do projeto

Tempos do projeto						
Para todas as atividades serão atribuídas distribuições triangulares, pois não se possui dados históricos, apenas informações de especialistas.						
OBS : Tempo em dias	Lâmina menor que 200 m (águas rasas)			Lâmina maior que 200 m (águas profundas)		
	Otimista	Moda	Pessimista	Otimista	Moda	Pessimista
Levantar dados Geofísicos	40	43	48	12,95	17,51	42,66
Processar dados	15	18	24	15	18	24
Interpretar	10	12	16	10	12	16
Analisar rota	0,083	0,167	0,333	0,083	0,167	0,333
Emitir relatório de Geofísica	Otimista		Moda		Pessimista	
	5		7		14	
Analisar feições geológicas e plotar furos	1	2	6	1	2	6
Fazer levantamento Geotécnico	8,5	11	22	5,12	5,98	12,3
Fazer ensaios de laboratório	30	90	180	80	120	160
Elaborar relatório de Geotecnia (sub-contratada)	4	8	16	4	8	16
Avaliar relatório	1	3	5	1	3	5
Emitir relatório interno de Geotecnia	14	20	30	14	20	30
Consolidar informações dos relatórios para projeto de dutos submarinos	Esta etapa é o marco final do projeto: recebimento dos três relatórios (Relatório interno de Geotecnia de lâmina menor que 200m, Relatório interno de Geotecnia de lâmina maior que 200 m, Relatório de Geofísica consolidado de águas rasas e profundas.)					
Informações Complementares da Execução do Projeto						
Levantar dados Geofísicos (re-trabalho em função de rota não OK)	Percurso Original		Percurso de re-trabalho		Percurso de re-trabalho	
	1600 km		800 Km		908,55 Km	
Decisão sobre o OK do relatório de Geotecnia.	Falha revisão 0	Falha revisão A		Falha revisão 0	Falha revisão A	
	39,0%	7,4%		39%	7,40%	
Re-trabalho do relatório de Geotecnia (sub-contratada)	5	7	10	5	7	10

6.3 Tradução do modelo (implementação)

Segundo FREITAS FILHO (2008), um sistema que gera dúvidas quanto à sua classificação, em termos de ser *sistema terminal* ou *não terminal*, é a execução de um projeto. Normalmente, esse tipo de sistema é de longa duração como, por exemplo, um projeto de construção civil, de navios, de equipamentos industriais de grande porte, etc. Assim, é comum classificá-los equivocadamente como *sistema não terminal*. Entretanto, um sistema é dito terminal se as suas condições de início e de término (evento de término) são claramente definidas e determinadas, como ocorre com a execução de um projeto. Logo, a classificação de um projeto de grande porte, enquanto sistema, é de um *sistema terminal de longo prazo* no contexto de um estudo de Simulação.

A correta interpretação do tipo de sistema é muito importante, já que um estudo de Simulação possui procedimentos distintos, conforme a classificação do sistema a qual se pretende estudar: se o sistema é terminal ou não terminal (CHWIF, 2007). No trabalho em questão, portanto, o sistema a ser estudado via Simulação é um sistema terminal de longo prazo: a execução do projeto de levantamento de dados geofísicos e geotécnicos para a implementação dos dutos submarinos.

Assim, a Figura 9 representa a tradução do modelo conceitual para um modelo computacional. Essa tradução foi realizada por meio do software ARENA 12.0. A mesma identifica os principais trechos do projeto, as atividades que compõem o mesmo, e alguns marcos importantes no modelo.

Já a Figura 10 representa os quadrantes de imagens no modelo de Simulação, cujos trechos terão suas imagens ampliadas e apresentadas em figuras posteriores. Esses trechos do modelo foram cuidadosamente selecionados para que possam proporcionar uma visão holística de todo o modelo de Simulação. O quadrante em azul representa o trecho de Geofísica de águas rasas, Figura 11; o verde representa o trecho central do modelo que inclui a atividade *emitir relatório de Geofísica*, Figura 12; o trecho em vermelho é o trecho de Geotecnia de águas rasas, Figura 13 e, por fim, o quadrante em preto representa o trecho final do modelo, Figura 14, o que inclui o marco *Consolidar informações do relatório para projeto de dutos*. Não serão mostrados os trechos das

etapas de Geofísica e Geotecnia de águas profundas, pois são idênticos aos trechos de águas rasas.

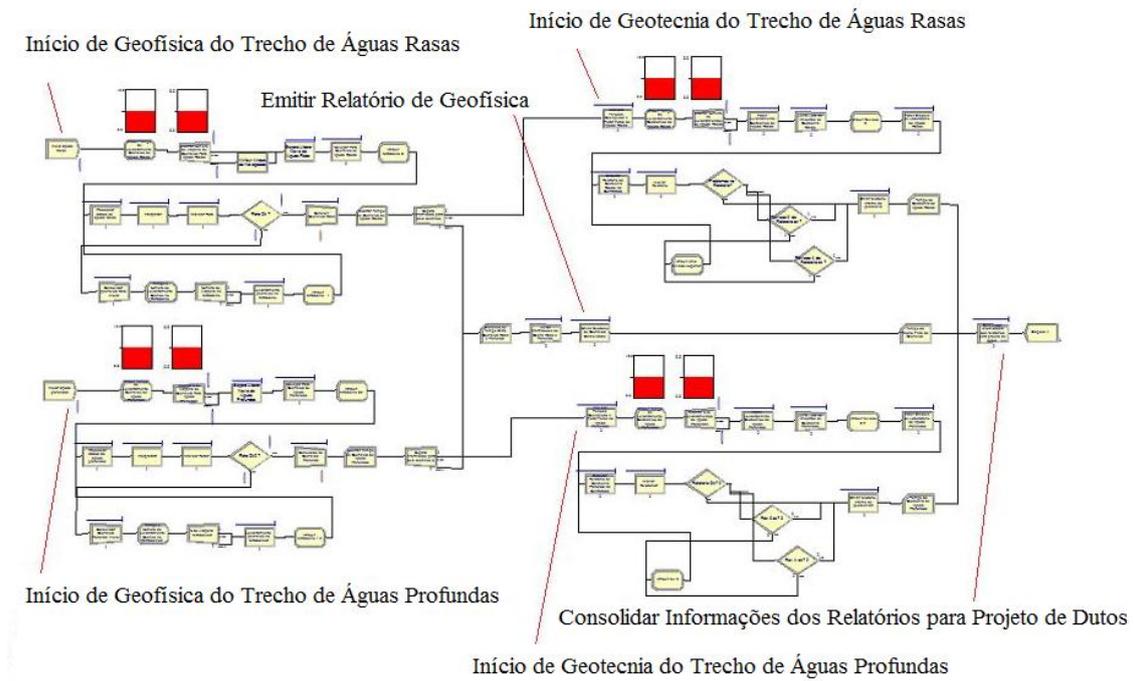


Figura 9 – Tradução do modelo

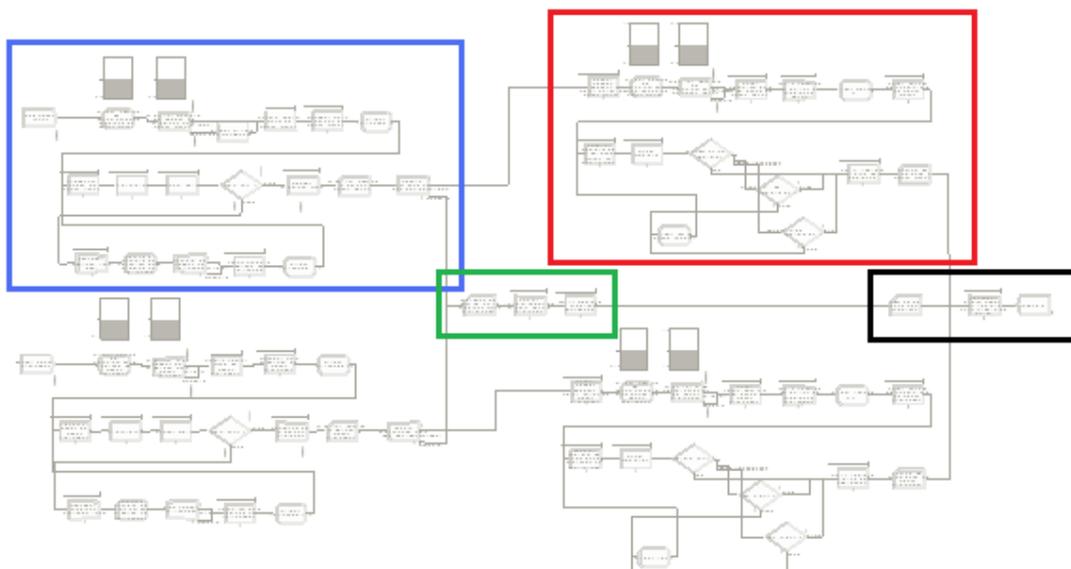


Figura 10 – Quadrantes-chaves do modelo

6.4 Verificação do modelo

No trabalho em questão, a verificação será feita utilizando-se o aplicativo do ARENA 12.0 chamado *Check model*. Esse é um recurso que o software possui de *debuging*.

6.5 Validação do modelo

Basicamente, dentre as várias técnicas disponíveis para a validação de modelos, uma se mostrou muito interessante e, por isso, foi utilizada no trabalho em questão: validação face a face (CHWIF, 2007). A validação face a face consiste no acompanhamento contínuo do “ator” que conhece o sistema em estudo, validando premissas, hipóteses, etc. Normalmente, esse “ator” é o cliente do estudo.

Um ponto importante é que a validação ocorreu por trechos do sistema, usando-se inicialmente tempos determinísticos. Após isso, utilizaram-se as distribuições triangulares característica de cada atividade, com a finalidade de avançar progressivamente na complexidade do modelo utilizado na validação. Os trechos em que ocorreram as validações parciais foram: Geofísica de águas rasas, ver Figura 11; Geofísica de águas profundas; Geotecnia de águas rasas, ver Figura 13; e Geotecnia de águas profundas.

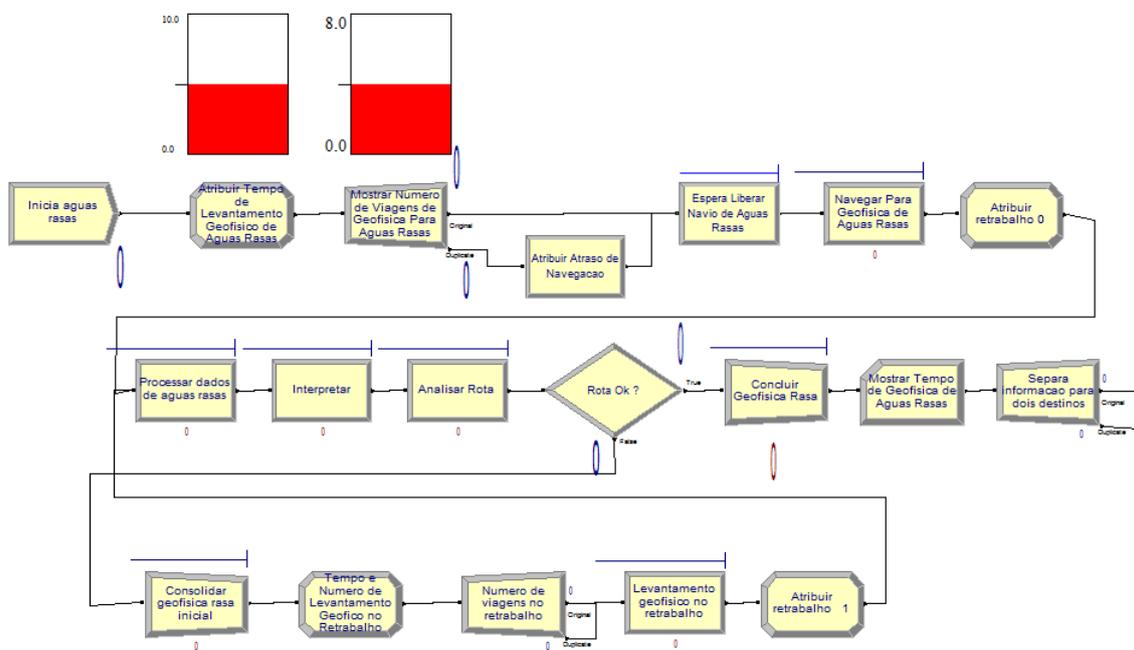


Figura 11 – Trecho de Geofísica de águas rasas

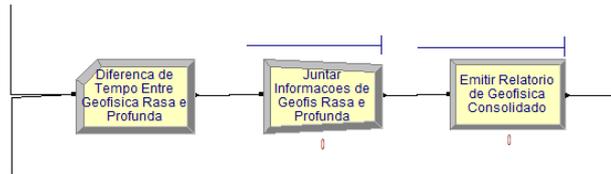


Figura 12 – Trecho de emitir relatório de Geofísica

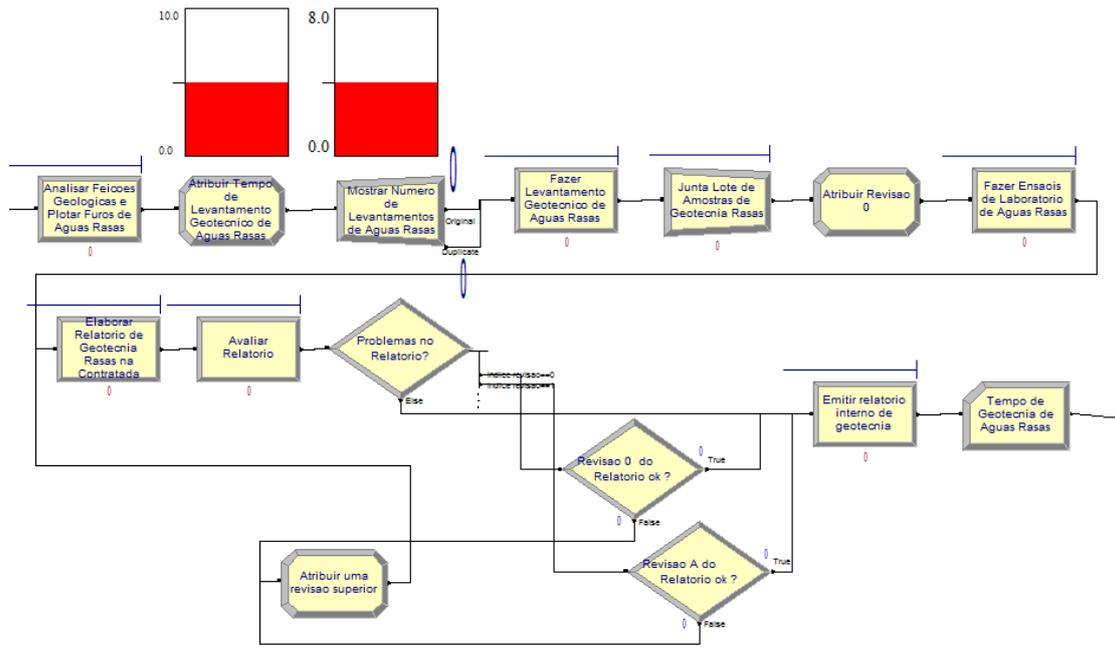


Figura 13 – Trecho de Geotecnia de águas rasas

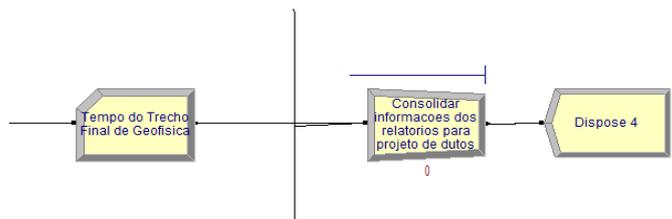


Figura 14 – Trecho final

O processo de calibração das etapas foi realizado nos mesmos trechos em que ocorreram as validações, já que a validação possui como sub-etapa a calibração (BANKS, 2010).

7. PROJETO DE EXPERIMENTOS GERAL

Por definição, chamaremos de Projeto de Experimentos Geral do presente estudo toda a lógica e sistemática de decisões que serão seguidas, a fim de se buscar cenários conforme já descrito nos objetivos deste trabalho. Segundo FREITAS FILHO (2008), essa é a etapa em que se projeta um conjunto de experimentos, a fim de se obter as informações desejadas com o menor número possível de experimentos e esforço.

Além disso, é preciso diferenciar o *Projeto de Experimentos Geral* do que chamaremos de *Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação*, a ser também utilizado neste trabalho. O primeiro é um conceito mais abrangente do que o segundo, incorporando esse último inclusive. No caso do Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação, essa é uma técnica proveniente da Estatística, cujo objetivo é testar a influência de certos fatores na variável resposta de um modelo.

Para efeito deste trabalho, o Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação é a primeira etapa do que chamamos de Projeto de Experimentos Geral. O uso do Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação tem como objetivo obter um *insight* (ensaio prévio) de como o sistema se comporta, por meio de um modelo de Simulação, quando são alterados os níveis de certos fatores do modelo. O modelo de Simulação é executado com um número pequeno de replicações, de maneira organizada, a fim de subsidiar boas escolhas de rodadas de Simulação a serem executadas e comparadas. Obviamente, está se falando de alterações nos níveis não de quaisquer fatores, mas dos fatores que se suspeitam como um dos mais influentes na variável resposta do modelo. A seleção desses fatores é feita via técnica de *Brainstorming* (chuva de idéias), em que os principais especialistas envolvidos nas atividades do sistema em estudo são envolvidos e convidados a opinar e listar esses fatores. Dessa forma, O Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação torna-se interessante como primeira etapa do Projeto de Experimentos Geral por proporcionar uma visão rápida e inicial de como o sistema se comporta, quando os tidos “*principais fatores*” são alterados.

Ademais, o Projeto de Experimentos Geral segue com as seguintes definições: o estabelecimento das medidas de desempenho que serão adotadas; o estabelecimento dos intervalos de confiança a serem adotados para os parâmetros; o estabelecimento da

confiança estatística e da precisão a ser adotada; o estabelecimento do número de replicações para cada rodada e o estabelecimento de amostras piloto.

Dessa forma, são estabelecidas todas as definições necessárias para se iniciar a produção das rodadas finais, mas agora baseadas nos cenários que se mostraram mais impactantes na variável resposta do modelo, conforme Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação. As mesmas são, agora, executadas com um número maior de replicações, representando assim cenários estatisticamente mais significativos para a tomada de decisões.

Assim, concluem-se as recomendações do Projeto de Experimentos Geral estabelecendo que: deve-se iniciar as rodadas finais com as alterações de nível do primeiro fator (ou interação) mais influente, escolhe-se a melhor configuração e seleciona-se a mesma como base para início do estudo do segundo fator (ou interação) mais influente. Assim, executam-se as rodadas com as alterações de nível do segundo fator (ou interação) mais influente, escolhe-se a melhor configuração e parte-se para o estudo das rodadas com alterações de nível do terceiro fator (ou interação) mais influente, e assim por diante. A sistemática prevê que sempre se escolha o melhor cenário para o estudo de um fator (ou interação), mesmo que a diferença não seja tão sensível de um cenário para outro. Quando dois cenários no estudo de um mesmo fator (ou interação) mostrarem-se semelhantes, então poderá ser lançado mão de uma análise de sensibilidade, a fim de diferenciá-los de algum modo.

Por fim, é relevante notar que a Tabela 3 mostra as atividades *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas e *fazer ensaios de laboratório* para águas profundas como sendo as atividades de projeto mais demoradas. Ou seja, os dois grandes gargalos do sistema. Em princípio, o presente estudo poderia focar em atuar diretamente nessas atividades, a fim de se reduzir o tempo dessas atividades. Conseqüentemente, se obter ganhos de prazo no projeto como um todo. Entretanto, isso não foi feito, pois conduzir o presente estudo baseado no Projeto de Experimentos Geral é uma sistemática mais ampla de intervenção no sistema. Inclusive, incorporando a possibilidade de reduções de tempo de execução dessas atividades em questão.

7.1 Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação ($2^k \times r$) para os fatores internos à OIL & GAS Enterprise

Esse projeto de experimentos foi executado com o objetivo de identificar os principais fatores internos à *OIL & GAS Enterprise* que afetam o prazo do projeto. Ou seja, a identificação dos fatores que são de controle direto e imediato, no ambiente interno da Oil & Gás Enterprise, e que muito influenciam o prazo do projeto. O projeto de experimentos é do tipo $2^k \times r$, em que $k = 5$ e $r = 3$, ou seja $2^5 \times 3$. O número 2 representa o número de níveis em que os cinco fatores testados (5 do k) são executados nas três replicações (3 do r) para cada cenário. Os cinco fatores com potencial de impactos no prazo do projeto foram levantados por consulta às pessoas envolvidas com essa modalidade de projeto, por meio de um *brainstorming* (chuva de idéias). Os fatores a serem testados são: priorização de recursos em águas rasas, número de geofísicos, diferença entre instante de tempo de início do projeto entre o trecho de águas rasas e profundas, número de engenheiros geotécnicos final, % de falhas em emissões de documentos de revisão 0.

Deve-se observar que para o presente trabalho, o tempo médio de projeto para cada cenário no projeto de experimentos foi obtido com 3 replicações. Esse número, em princípio, não proporciona significância estatística. Entretanto, o mesmo fornece uma primeira direção ao analista de Simulação, em termos de quais fatores podem proporcionar impactos na variável resposta. Dessa forma, é possível que a produção das rodadas finais mostre certa diferença no grau de influência dos fatores testados com relação ao projeto de experimentos, já que os resultados das rodadas serão obtidos com um número de replicações mais significativo.

A Tabela 4 lista os principais fatores internos que poderiam ter grande impacto no prazo do projeto, assim como os níveis em que os mesmos estão sendo verificados. A coluna (-1) representa o nível real atual de um fator, e a coluna (+1) mostra o nível proposto para um certo fator. A Tabela 5 mostra os resultados do projeto de experimentos para a análise dos fatores internos à *OIL & GAS Enterprise*, mostrando o grau de explicação de cada fator na variável resposta (tempo médio de projeto) em (%). Para um entendimento mais detalhado, ver Apêndice A.2.

Tabela 4 – Principais fatores internos à Oil & Gas Enterprise a serem testados

Lista dos Principais Fatores Internos à OIL & GAS Enterprise			
Fator	Descrição	Nível Atual (-1)	Nível Proposto (+1)
A	Priorização de recursos em águas rasas	Média	Alta para o uso de Geofísico e Eng. Geotécnicos final em águas rasas
B	Número de Geofísicos	1	4
C	Diferença entre instante de tempo de início entre águas rasas e profundas	- 60 dias	0 dias
D	Número de Eng. Geotécnicos Final	1	3
E	% de falhas em emissões de documentos revisão 0	39%	20%

7.2 Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação ($2^k \times r$) para os fatores externos à OIL & GAS Enterprise

Esse projeto de experimentos foi executado com o objetivo de identificar os principais fatores externos à OIL & GAS Enterprise que afetam o prazo do projeto. Ou seja, os fatores relevantes que estão sob o controle das empresas sub-contratadas. O projeto é do tipo $2^k \times r$, em que $k = 5$ e $r = 3$, ou seja, $2^5 \times 3$. O número 2 representa o número de níveis em que os cinco fatores testados (5 do k) são executados nas três replicações (3 do r) para cada cenário. Os cinco fatores com potencial de impactos no prazo do projeto foram levantados por consulta às pessoas envolvidas com essa modalidade de projeto, por meio de um *brainstorming* (chuva de idéias). Todos esses fatores estão associados às sub-contratadas A, B e C. Os fatores a serem testados são: tempo de levantamento geofísico em águas rasas, tempo de levantamento geofísico em águas profundas, tempo de fazer ensaios de laboratório de águas rasas, tempo de fazer ensaios de laboratório de águas profundas e tempo de fazer levantamento geotécnico de águas rasas.

Assim, como no item anterior de projeto de experimentos para fatores internos, deve-se observar que para o projeto de experimentos em questão, o tempo médio de projeto para cada cenário é obtido com 3 replicações. Esse número, em princípio, não proporciona significância estatística. Entretanto, o mesmo fornece uma primeira direção ao analista de Simulação, em termos de quais fatores externos podem proporcionar impactos na variável resposta. Dessa forma, é possível que a produção das rodadas finais mostre certa diferença no grau de influência dos fatores testados com relação ao projeto de experimentos, já que os resultados das rodadas serão obtidos com um número de replicações mais significativo.

A Tabela 6 lista os principais fatores externos que poderiam ter grande impacto no prazo do projeto, assim como os níveis em que os mesmos estão sendo verificados. A coluna (-1) representa o nível real atual de um fator, e a coluna (+1) mostra o nível proposto para um certo fator. A Tabela 7 mostra os resultados do projeto de experimentos para a análise dos fatores externos à *OIL & GAS Enterprise*, mostrando o grau de explicação de cada fator na variável resposta (tempo médio de projeto) em (%). Para um entendimento mais detalhado, ver Apêndice A.2.

Tabela 6 – Principais fatores externos à Oil & Gas Enterprise a serem testados

Lista dos Principais Fatores Externos à <i>OIL & GAS Enterprise</i> (tempo otimista, moda e tempo pessimista, <i>em dias</i>)			
Fator	Descrição	Nível Atual (-1)	Nível Proposto (+1)
A	Levantamento Geofísico em águas rasas	(40;43;48)	(40;43;48)/2
B	Levantamento Geofísico em águas profundas	(12,95; 17,51;42,66)	(12,95; 17,51;42,66)/2
C	Ensaio de laboratório em águas rasas	(30;90;180)	(30;90;180)/2
D	Ensaio de laboratório em águas profundas	(80;120;160)	(80;120;160)/2
E	Fazer levantamento Geotécnico em águas rasas	(8,5;11;22)	(8,5;11;22)/2

7.3 Rodadas

Após o Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação para fatores internos, verificou-se a conveniência de execução das seguintes rodadas, por ordem decrescente de influência dos fatores internos no sistema, conforme Tabela 5: rodada considerando variações na diferença do instante de tempo entre início de águas rasas e profundas (28,10%), rodadas com variações de número de engenheiros geotécnicos final (11,78%), rodadas com variações no número de geofísicos (5,78%). Um ponto importante a ser observado é que variações conjunta dos fatores, dois a dois, não mostraram grande influência no sistema, conforme se pôde observar nesse projeto de experimentos.

Além das rodadas mencionadas, ainda com relação aos fatores internos, algumas outras rodadas se mostram relevantes e, portanto, também serão executadas para um melhor entendimento do comportamento do sistema. Essas rodadas complementares são: rodada considerando modelo estocástico real atual (rodada 1), rodada considerando um modelo determinístico total (rodada2) e a rodada de modelo determinístico no tempo (rodada3). A primeira rodada será mostrada posteriormente em detalhes, enquanto que as rodadas 2 e 3 serão apresentadas apenas no Apêndice A.3.

Com relação ao Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação para fatores externos, verificou-se a conveniência de execução das seguintes rodadas, por ordem decrescente de influência dos fatores externos no sistema, conforme Tabela 7: rodada considerando variações no tempo de ensaios de laboratório de águas profundas (34,89%), rodada considerando variações no tempo de ensaios de laboratório de águas rasas (26,80%) e rodada considerando variações no tempo de ensaios de laboratório de águas rasas e profundas, conjuntamente (2,46%).

7.4 Medidas de desempenho

A medida de desempenho a ser adotada para o estudo de caso depende do objetivo em questão. Para o primeiro objetivo do trabalho, duas medidas de desempenho serão adotadas: o tempo de projeto para uma probabilidade acumulada de realização do projeto de 100%; e o tempo médio de execução do projeto. A primeira medida prevalece sobre a segunda. Ou seja, apenas se houver um empate na primeira medida

entre dois cenários, a segunda será usada para a escolha do melhor cenário. Para as duas medidas de desempenho, quanto menor seu valor, melhor.

Para o segundo objetivo, a única medida de desempenho é o tempo médio de execução do projeto. Nesse último caso, também vale a regra de quanto menor, melhor. Essas escolhas estão diretamente alinhadas com os seus respectivos objetivos do estudo de Simulação.

7.5 Intervalos de confiança

Serão obtidos intervalos de confiança para todas as variáveis envolvidas no modelo de Simulação, não somente para aquelas que representam as medidas de desempenho do sistema. Esses intervalos de confiança serão automaticamente gerados pelo Simulador ARENA 12.0. Lembrando que o intervalo de confiança é representado por $(\bar{x} \pm h)$, em que h é a precisão do intervalo. A média será representada por **average** e a precisão por **half width** no relatório de Simulação gerado pelo ARENA 12.0.

7.6 Confiança estatística e precisão

Trabalharemos com uma confiança estatística¹⁰, ou intervalo de confiança de 95%. Inclusive, essa confiança é *default* (um padrão inicial) no ARENA 12.0. No que tange à precisão¹¹, como o tamanho das amostras será elevado, é provável obter-se boa precisão para as estatísticas que serão geradas. Entretanto, adotaremos como meta uma precisão com valor menor que 5 dias.

¹⁰ Confiança estatística: esse conceito refere-se ao intervalo de confiança que contém a média da população, sob certa probabilidade. Quanto maior o valor dessa probabilidade, maior é a confiança estatística de que a média da população encontra-se dentro desse intervalo (CHWIF, 2007).

¹¹ Precisão: é o raio do intervalo de confiança (h), ou metade do intervalo de confiança. Logo, $2h$ é o comprimento do intervalo de confiança. Uma observação interessante é que não adianta uma elevada confiança estatística se o raio do intervalo de confiança for muito grande, pois nada se poderá concluir de relevante sobre a média da população (CHWIF, 2007).

7.7 Replicações

As rodadas a serem executadas serão compostas por 200 replicações cada uma. O número elevado de replicações é conveniente, na medida em que se pode evitar replicações adicionais com o objetivo de se obter maior precisão na medida de desempenho.

7.8 Amostra piloto

Conforme dito anteriormente, utilizaremos uma amostra piloto inicial com 200 replicações em cada rodada. Como esse tamanho de amostra é considerado razoável, espera-se que não haja necessidade de rodadas de Simulação complementares, a fim de se obter boa precisão ($h = \text{half width} < 5$ dias) para a confiança estatística escolhida de 95%.

Caso haja necessidade de replicações adicionais, a fim de se obter uma precisão desejável, utilizaremos a relação abaixo (FREITAS FILHO, 2008) entre intervalo de confiança, precisão e número da mostra (número de replicações).

$$n^* = \lceil n(h/h^*)^2 \rceil$$

n^* = número da amostra necessária;

n = número da amostra piloto

h = precisão real

h^* = precisão desejada

A Figura 15 representa o processo necessário para se obter a precisão desejada, para uma certa confiança estatística, acrescentando um certo número de replicações.

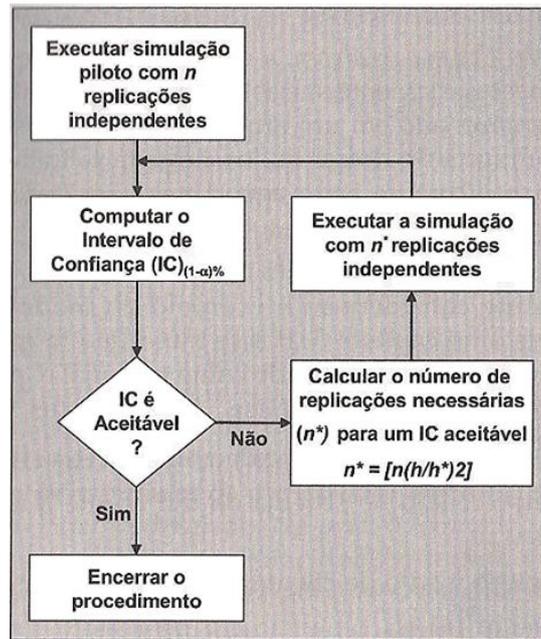


Figura 15 – Fluxograma do procedimento de análise de sistemas terminais

Fonte: FREITAS FILHO (2008)

8. PRODUÇÃO DAS RODADAS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para LAW (2007), existem duas atividades fundamentais nessa etapa: a determinação do desempenho absoluto de operação de um cenário (levantamento dos valores assumidos pelas medidas de desempenho) e a comparação de cenários em sentido relativo. Para o primeiro caso, serão apresentadas as medidas de desempenho de cada sistema, assim como outras estatísticas adicionais. Para o segundo caso, será usado o método do Teste de Hipóteses para a comparação de duas médias com dados emparelhados (NETO, 2002). Assim, será possível a comparação da média do cenário real atual com a média de um cenário alternativo, o qual se deseja avaliar e, eventualmente, propor como alternativa de operação do sistema.

Com relação às rodadas a serem executadas, alguns esclarecimentos se fazem necessários. Para cada rodada será apresentada uma tabela e um gráfico. Tanto a tabela *User Specified* (especificado pelo usuário), quanto o gráfico de probabilidade acumulada de realização do projeto fornecem estatísticas importantes para a comparação dos cenários. Neste capítulo, serão apresentadas somente a tabela e o gráfico da rodada 1, que representa o modelo estocástico atual (modelo atual real do sistema). **As demais rodadas, com as suas respectivas tabela *User Specified* e gráfico de probabilidade acumulada de realização do projeto, estão apresentadas no apêndice A.3. Entretanto, isso não impedirá que as mesmas sejam mencionadas nas análises e conclusões subseqüentes deste capítulo.**

Nas tabelas com o título *User Specified* (especificado pelo usuário) existem sete estatísticas que foram coletadas e apresentadas em relatório pelo Simulador para cada rodada. A primeira, e a mais importante, é a *Consolidação dos relatórios final*, no item *Output* (saída). Essa estatística representa a medida de desempenho chamada de tempo médio de projeto, para a referida rodada com 200 replicações. As outras estatísticas são: *Diferença de tempo entre Geofísica de águas rasas e profundas*, que representa módulo da diferença entre o intervalo de tempo de execução de Geofísica de águas rasas e profundas; *Tempo de Geofísica de águas rasas*, que representa o intervalo de tempo para a execução de toda a Geofísica em águas rasas; *Tempo de Geofísica de águas profundas*, que representa o intervalo de tempo para a execução de toda a Geofísica em águas profundas; *Tempo de Geotecnia de águas rasas*, que representa o intervalo de tempo para a execução de toda a Geotecnia em águas rasas; *Tempo de Geotecnia de*

águas profundas, que representa o intervalo de tempo para a execução de toda a Geotecnia em águas profundas e, por fim; *Tempo do trecho final de Geofísica*, que representa o intervalo de tempo entre o término da primeira Geofísica concluída (não importa se de águas rasas ou de profundas) e a emissão do relatório de Geofísica.

Além disso, tem-se o gráfico de probabilidade acumulada de realização do projeto. Esse gráfico fornece a probabilidade acumulada de realização do projeto, em função do tempo de projeto que se deseja comparar (nosso maior interesse). E mais, é possível observar que o gráfico também fornece as frequências absolutas, relativas, frequências absolutas acumuladas e, conforme já mencionado, as frequências relativas acumuladas para a realização do projeto.

Por fim, a produção das rodadas de Simulação irá subsidiar a proposição de novos cenários, como sugestão de melhoria na maneira como o projeto em questão é executado. As rodadas de Simulação terão os seus principais fatores do modelo alterados, segundo o que fora sugerido nos Projetos de Experimento Estatístico com Simulação para fatores internos e externos à *OIL & GAS Enterprise*.

8.1 Análise da rodada 1 – Modelo estocástico atual (*modelo real do sistema*)

Esse cenário foi construído atribuindo-se as distribuições de probabilidade triangulares, com seus valores *otimista*, *moda* e *pessimista*, respectivamente, para cada atividade do projeto, conforme Tabela 3. Além disso, foram consideradas todas as aleatoriedades mapeadas no sistema para este trabalho, conforme essa mesma tabela. Um ponto importante a ser ressaltado é que *essa configuração de cenário incorpora a defasagem de 60 dias entre o início do projeto no trecho de águas rasas em relação a águas profundas (águas rasas começa 60 dias depois de profundas)*.

Com relação às características desse cenário, ressalta-se que o mesmo prevê um tempo médio de execução do projeto (consolidação dos relatórios final) de 311 dias, ver Tabela 8. Essa previsão representa um atraso de 21,5 dias em relação à previsão feita internamente na *OIL & GAS Enterprise* cuja ferramenta PERT/CPM mostrou uma previsão de execução do projeto de 289,5 dias. Além disso, a Tabela 8 mostra que todo

o trecho de águas rasas é o caminho crítico¹² do projeto. Essa informação pode ser obtida ao observar que a Geofísica de águas rasas termina 95,64 dias depois da Geofísica de águas profundas (Diferença de tempo entre Geofísica rasa e profunda). Assim, como a Geotecnia de águas profundas começa 95,64 dias antes da Geotecnia de águas rasas, e tendo em vista o tempo de Geotecnia de águas rasas (159,05 dias) e profundas (170,38 dias), conclui-se que águas rasas é o caminho crítico para esse cenário.

Tabela 8 – Especificado pelo usuário para a rodada 1

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferenca de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	95.6429	< 0,96	70.6078	111.25	70.6078	111.25
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	56.3030	< 0,88	45.6927	79.9581	45.6927	79.9581
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	151.95	< 0,40	146.11	157.61	146.11	157.61
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	170.38	< 2,83	127.82	224.68	127.82	224.68
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	159.05	< 4,59	88.7837	240.16	88.7837	240.16
Tempo do Trecho Final de Geofisica	104.06	< 0,98	80.0798	120.60	80.0798	120.60
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	311.00	4,60	237.85	393.32		

Já o Gráfico 10 mostra as classes de freqüências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para essa rodada. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de freqüência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a freqüência absoluta e a freqüência relativa para cada classe de freqüência. Como o número de replicações para a rodada é elevado (n=200), iremos considerar que a freqüência relativa e a freqüência relativa acumulada, para cada classe de freqüência,

¹² Consolidação dos relatórios final (311,00 dias) = Tempo de Geofísica de águas rasas (151,95 dias) + Tempo de Geotecnia de águas rasas (159,05 dias).

tende a ser a probabilidade e a probabilidade acumulada referente à essa classe de frequência, respectivamente.

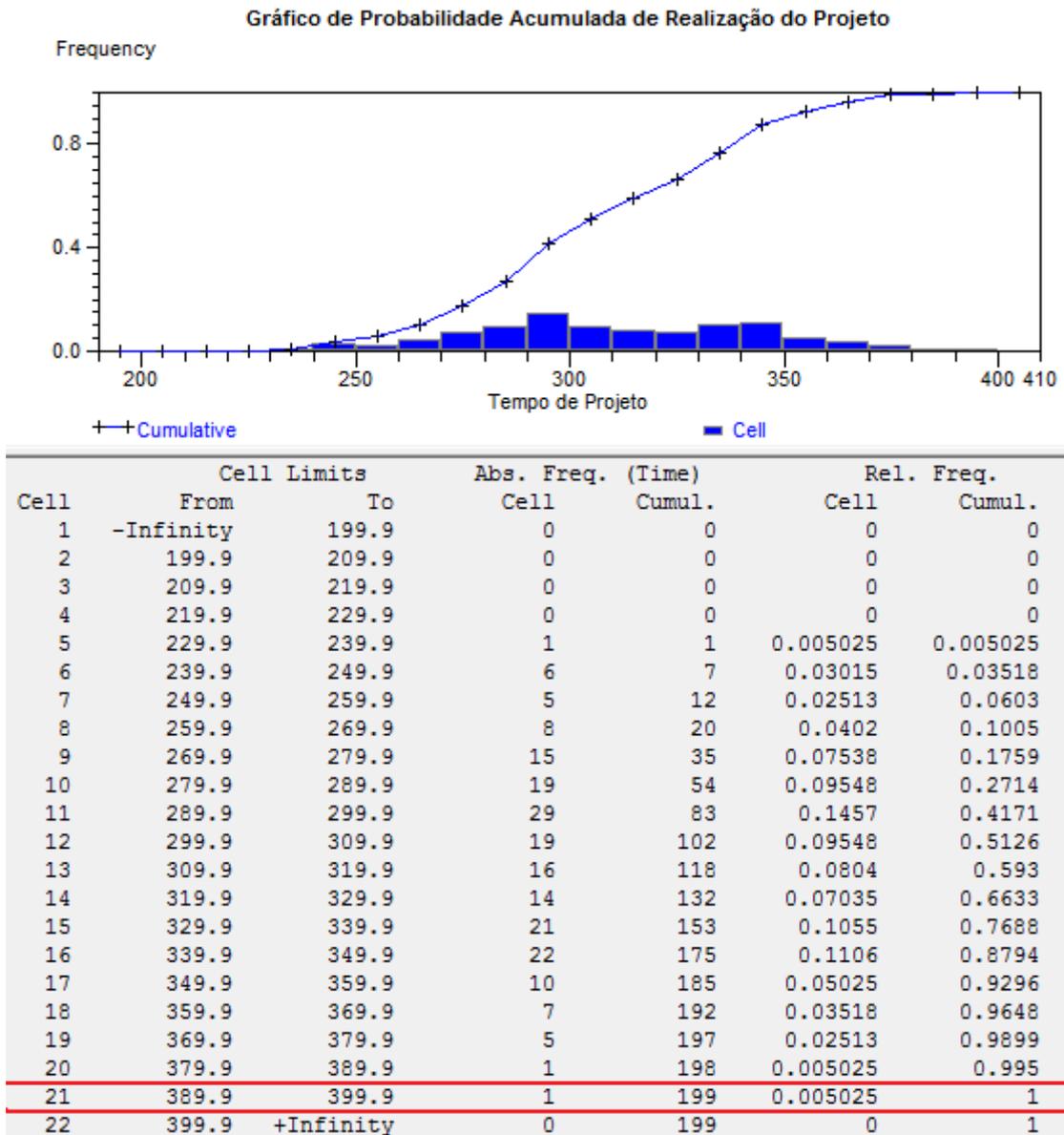


Gráfico 10 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para rodada 1

Conforme pode ser visto no Gráfico 10 (ver destacado em vermelho), o tempo de projeto é de 399,9 dias (consideramos o limite superior) para uma probabilidade acumulada de realização de 100%. Notar que a probabilidade acumulada de realização do projeto de 100% é representada por 1.

8.2 Análise das rodadas com variações no tempo relativo de início entre águas rasas e profundas

O estudo e a análise das rodadas em questão tornam-se relevantes na medida em que se obteve 28,10% de explicação da variável resposta do modelo de Simulação em função do tempo relativo de início entre águas rasas e profundas. Ver resultados do Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação para fatores internos, Tabela 5.

As rodadas que compõem a presente análise são as rodadas de número 1 e as de número 4 à 10. As mesmas apresentam variações no início relativo entre o trecho do projeto de águas rasas e profundas.

Podemos concluir, de acordo com as rodadas simuladas, que a rodada de *início de águas profundas 7 dias antes de águas rasas* (rodada 5) e a *rodada de início conjunto de águas rasas e profundas* (rodada 6) possuem o menor *tempo de projeto com probabilidade acumulada de realização de 100%*. Conforme podemos perceber na Tabela 9 e Gráfico 11, esses dois cenários empatam na medida de desempenho *tempo de projeto para probabilidade acumulada de realização de 100%* (ambos com 339,90 dias de projeto). Lembrando que T_p é o instante de tempo de início do projeto no trecho de águas profundas, enquanto que T_r o equivalente para o trecho de águas rasas.

Tabela 9 – Tempo de projeto para probabilidade acumulada de realização de 100% versus ($T_p - T_r$)

Rodada	Diferença $T_p - T_r$	Tempo de Projeto
1	-60	399,90
4	-14	349,90
5	-7	339,90
6	0	339,90
7	7	349,90
8	14	349,90
9	20	349,90
10	60	359,90

Tempo de Projeto para Probabilidade Acumulada de Realização de 100%
x
Diferença de Instante entre Início de Águas Profundas e Rasas

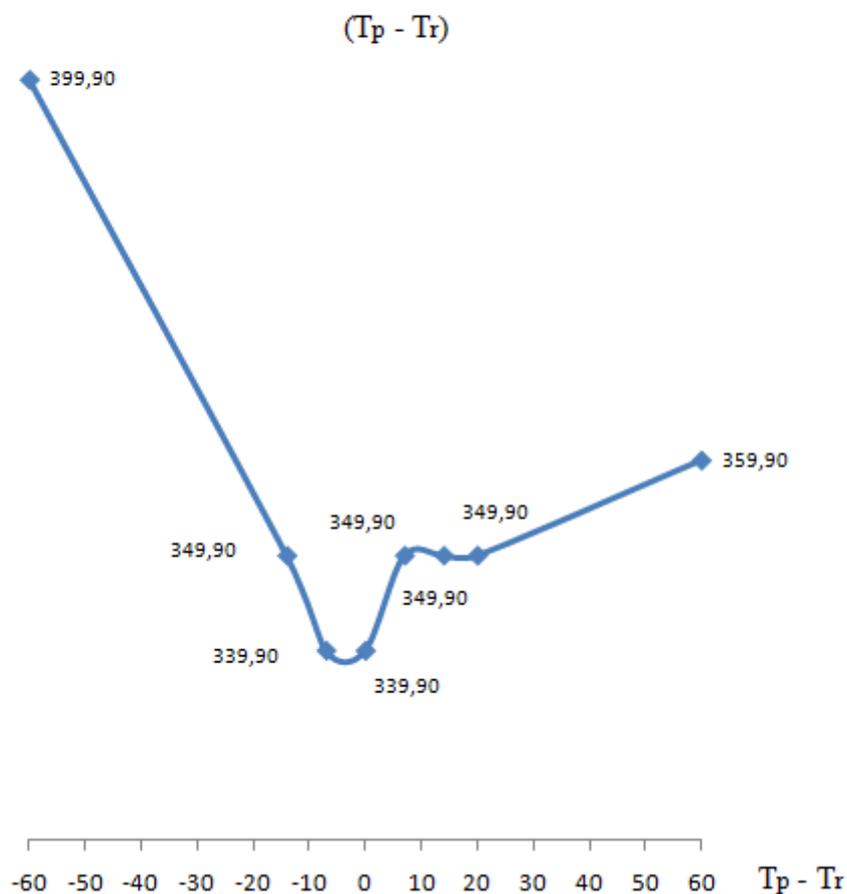


Gráfico 11 – Representação gráfica da Tabela 9

Utilizando a segunda medida de desempenho para o desempate, podemos perceber que a rodada que representa o início conjunto entre águas rasas e águas profundas possui o menor tempo médio de projeto previsto, correspondendo a 271,49 dias, ver Tabela 10 e Gráfico 12. Dessa forma, levando-se em consideração apenas as rodadas testadas na presente análise, o início de águas rasas conjunto com o início de águas profundas seria um ponto de mínimo local, com relação à variável tempo médio de projeto.

Tabela 10 – Tempo médio de projeto versus (Tp – Tr)

Rodada	Diferença Tp -Tr	Tempo de Projeto
1	-60	311,00
4	-14	278,63
5	-7	274,05
6	0	271,49
7	7	274,56
8	14	278,64
9	20	284,80
10	60	306,08

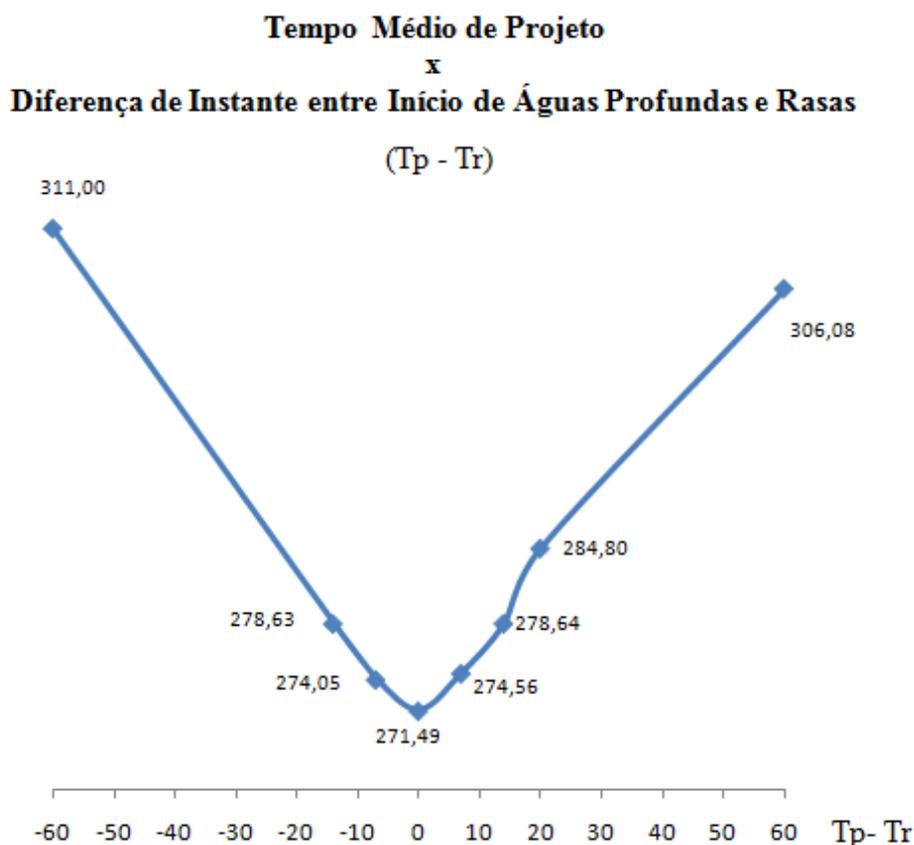


Gráfico 12 – Representação gráfica da Tabela 10

Apesar de não se poder garantir que a rodada 6 seja um ponto de mínimo global, para a variável de resposta *tempo médio de projeto*, adotaremos para as próximas rodadas essa configuração como base, conforme a sistemática estabelecida no Projeto de Experimentos Geral. Ou seja, essa rodada é um ponto de partida para novas melhorias. A partir da mesma, iremos alterá-la (mexendo em outros fatores ainda a serem analisados) de maneira a obtermos melhorias adicionais para a variável resposta.

8.3 Análise das rodadas com início simultâneo de águas rasas e profundas e com variações de recursos

O estudo e a análise das rodadas em questão tornam-se relevantes na medida em que se obteve uma explicação da variável de resposta *tempo médio de projeto* com 11,78 % atribuída à variação no número de EGF (engenheiro geotécnico final) e de 5,78% atribuída ao número de GE (geofísico). Ver resultados do Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação para fatores internos, Tabela 5.

As rodadas que compõem a presente análise são as rodadas de número 11 a 21. Dessa forma, passaremos a partir de agora a estudar o comportamento do sistema com as variações de recursos, mas com início simultâneo do trecho do projeto de águas rasas e profundas. Apenas como premissa, consideraremos que os cenários cuja adição de recursos não ultrapassem 0,5 EGF ou 0,5 GE são cenários com adição de recursos de baixo custo de implantação. Essa premissa será relevante para a escolha de cenários com ganhos em prazo a custo baixo. Esclarecendo que 0,5 EGF é um engenheiro geotécnico final com dedicação parcial (de 50%) do seu turno de trabalho a esse projeto. Analogamente, 0,5 GE é um geofísico com dedicação parcial (de 50%) do seu turno de trabalho a esse projeto.

Para a presente análise, o tempo de projeto para a probabilidade acumulada de realização de 100 % segue os resultados conforme Tabela 11 e o Gráfico 13. O menor valor de tempo de projeto é representado pela rodada 21 em que utilizaram-se 3 EGF e 2 GE. Entretanto, lembrando do fato de que estamos buscando a adoção de cenários com ganhos em prazo e, se possível, a custos adicionais baixo, a escolha sugerida deve se concentrar em 2 possibilidades de cenários, conforme números destacados em fundo branco na Tabela 11. Esses cenários representam as rodadas 11 e 16, conforme apêndice. Esses dois cenários representam configurações com ganhos de prazo em relação à rodada 6 e custos adicionais baixo, conforme premissa já discutida.

Tabela 11 – Tempo de projeto com probabilidade acumulada de realização de 100% como função do número de EGF e de GE

f (Número de EGF, Número de GE) = $y \cdot f =$ Tempo de Projeto com Probabilidade Acumulada de 100%	Número de Geofísicos (GE)			
		1	1,5	2
Número de Engenheiros Geotécnico Final (EGF)	1	rodada 6	rodada 16	rodada 17
	1,5	rodada 11	rodada 14	rodada 15
	2	rodada 12	rodada 18	rodada 19
	3	rodada 13	rodada 20	rodada 21

f (Número de EGF, Número de GE) = $y \cdot f =$ Tempo de Projeto com Probabilidade Acumulada de 100%	Número de Geofísicos (GE)			
		1	1,5	2
Número de Engenheiros Geotécnico Final (EGF)	1	339,9	329,9	319,9
	1,5	329,9	319,9	309,9
	2	319,9	309,9	309,9
	3	319,9	309,9	299,9

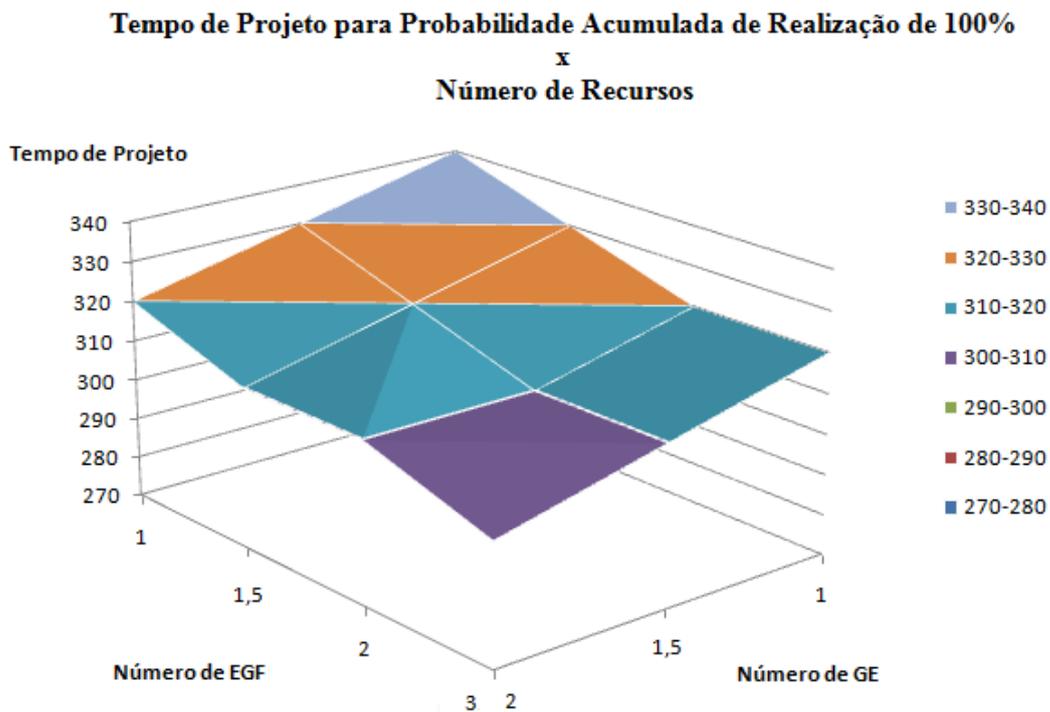


Gráfico 13 – Gráfico de resposta de superfície para a Tabela 11

Conforme se pode observar na Tabela 11 e no Gráfico 13, existe um empate entre as rodadas 11 e 16, segundo a medida de desempenho *tempo de projeto com probabilidade acumulada de realização de 100%*. Dessa forma o desempate ocorrerá com a comparação entre as rodadas por meio da 2ª medida de desempenho, *tempo médio de projeto*.

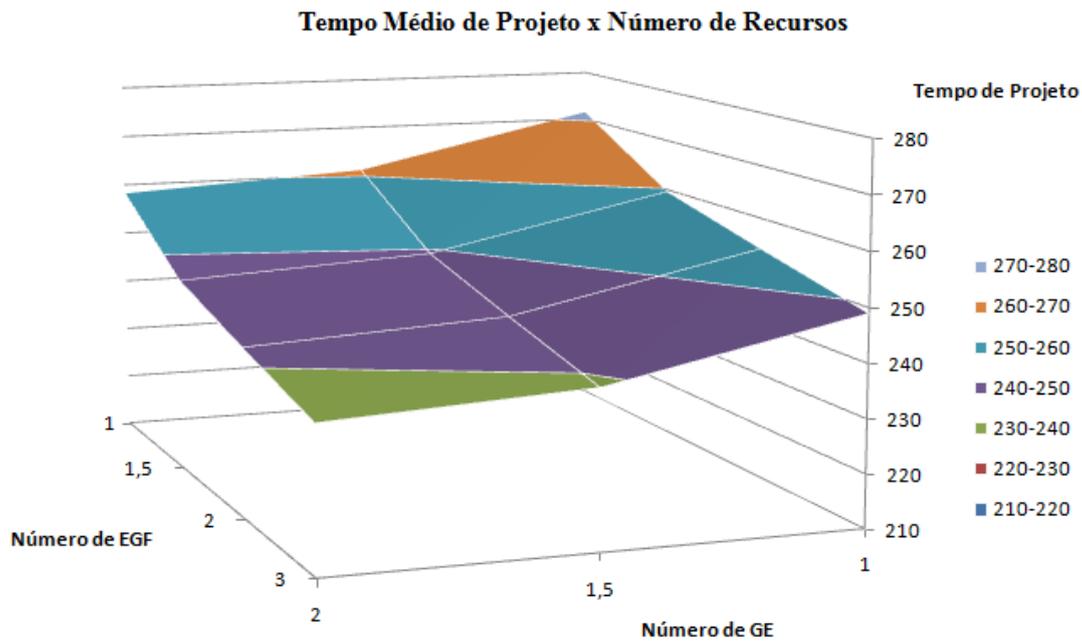
Segundo a Tabela 12 e Gráfico 14, existe mais ganho em se acrescentar mais 0,5 EGF do que 0,5 GE. Dessa forma, conforme critério do Projeto de Experimentos Geral, a configuração recomendada para o sistema seria o acréscimo de 0,5 EGF em relação à rodada 6, configurando a rodada 11. Deve-se, entretanto, levar em consideração que mesmo com o uso da 2ª medida de desempenho os resultados ainda estão muito próximos.

Tabela 12 – Tempo médio de projeto como função do número de EGF e de GE

f (Número de EGF, Número de GE) = $y \cdot f =$ Tempo Médio de Projeto	Número de Geofísicos (GE)			
		1	1,5	2
Número de Engenheiros Geotécnico Final (EGF)	1	rodada 6	rodada 16	rodada 17
	1,5	rodada 11	rodada 14	rodada 15
	2	rodada 12	rodada 18	rodada 19
	3	rodada 13	rodada 20	rodada 21

f (Número de EGF, Número de GE) = $y \cdot f =$ Tempo Médio de Projeto	Número de Geofísicos (GE)			
		1	1,5	2
Número de Engenheiros Geotécnico Final (EGF)	1	271,49	260,97	258,24
	1,5	259,57	249,46	246,76
	2	254,14	244,07	241,43
	3	248,95	239,04	236,45

Assim, o próprio Gráfico 14 torna-se oportuno ao mostrar que o sistema é apenas ligeiramente mais sensível e, portanto, influenciável por acréscimos em número de EGF do que de GE. Observar que para cada incremento em número de EGF (de 0,5, no gráfico), a redução do tempo médio de projeto é maior, se comparado com a redução do tempo médio de projeto com o incremento equivalente em GE. Dito de outra maneira, notar que o gráfico é um pouco mais “inclinado” no sentido do eixo de EGF do que de GE. Dessa forma, escolheu-se a rodada 11 em detrimento da rodada 16 tendo em vista apenas o critério adotado no Projeto de Experimentos Geral.



8.4 Análise das rodadas com variações no tempo das atividades fazer ensaios de laboratório de águas rasas e profundas

Essa etapa é composta de experimentações com variações nos tempos de execução das atividades *fazer ensaios de laboratórios* para o trecho de águas rasas, *fazer ensaios de laboratório* para o trecho de águas profundas e os dois conjuntamente, conforme reduções de tempo na Tabela 6 para as rodadas 22, 23 e 24.

O estudo e a análise das rodadas em questão tornam-se relevantes na medida em que se obteve uma explicação da variável de resposta, *tempo médio de projeto*, com 34,89 % atribuída a redução do tempo da atividade *Fazer ensaios de laboratório* para águas profundas; 26,80% atribuída à redução do tempo da atividade *Fazer ensaios de laboratório* para águas rasas; e 2,46 % atribuída à redução conjunta dos tempos das atividades *Fazer ensaios de laboratório* para águas rasas e profundas. Ver resultados do Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação para fatores externos, Tabela 7.

A Tabela 13 mostra o *tempo de projeto para probabilidade acumulada de realização de 100%* em função da rodada. Para essa medida de desempenho, observar que a rodada 23 não apresentou nenhum ganho em relação à rodada 11, já que essa última também

apresenta 329.9 dias de *tempo de projeto para probabilidade acumulada de realização de 100%*. Além disso, apesar da rodada 24 apresentar o melhor valor para essa medida de desempenho, a mesma não apresentou uma diferença significativa em relação à rodada 22, se comparamos o esforço e as ações necessárias para a construção de ambas rodadas (a rodada 24 é redução do tempo de realização das atividades fazer ensaios de laboratório para águas rasas e profundas ao mesmo tempo, enquanto que a rodada 22 é a redução apenas do tempo da atividade fazer ensaios de laboratório de águas rasas). Assim, para a medida de desempenho em questão, escolheu-se a rodada 22 como sendo a mais significativa. Essa decisão constitui-se uma exceção ao estabelecido no Projeto de Experimentos Geral.

Tabela 13 – Tempo de projeto para probabilidade acumulada de realização de 100% como função da rodada

Rodada	Variável Resposta (Tempo de Projeto para Probabilidade Acumulada de Realização de 100%)
22	269,9
23	329,9
24	249,9

Além disso, a Tabela 14 fornece o resultado da execução das rodadas, mas agora em relação à medida de desempenho *tempo médio de projeto*. A ordenação de preferência das rodadas, em termos de resultados, não se altera quando as rodadas são comparadas segundo essa medida de desempenho. Dessa forma, a rodada 22 permanece como sendo a de melhor “custo benefício” para essa medida de desempenho, da mesma forma que a análise anterior. Ademais, a escolha da rodada 22 significa atuar diretamente no caminho crítico médio do projeto. Ou seja, um ponto de intervenção muito relevante. Isso acontece na medida em que essa rodada representa atuar na atividade *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas, o que implica atuar na Geotecnia de águas rasas que, na média, está no caminho crítico do projeto, ver Tabela 30 da rodada 11.

Tabela 14 – Tempo médio de projeto como função da rodada

Rodada	Variável Resposta (Tempo Médio de Projeto)
22	232,76
23	250,04
24	200,81

Assim, o Gráfico 15 mostra o desempenho das rodadas como função das duas medidas de desempenho. Observar que a ordenação de preferência das rodadas não se altera em relação às duas medidas de desempenho.

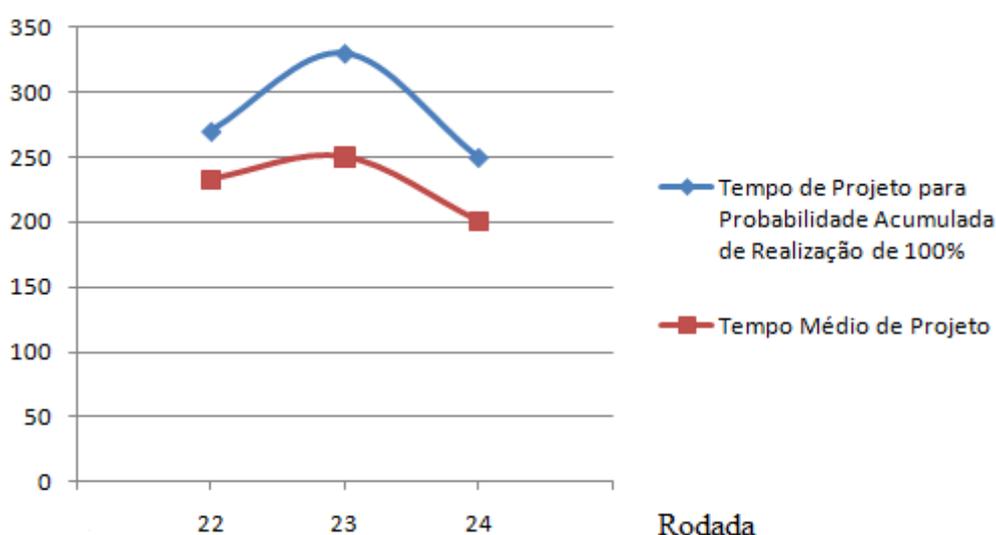


Gráfico 15 – Resultado das medidas de desempenho como função da rodada

Escolhida a Rodada 22, alguns esclarecimentos se fazem necessários. O ponto fundamental a ser ressaltado é que apesar do tempo de execução da atividade *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas representar um *imput* (fator de entrada) no modelo de Simulação, esse tempo é consequência das operações que constituem essa atividade. Assim, as causas que geram os elevados tempos de execução dessa atividade estariam associadas a essas operações. Entretanto, não foi possível levantar quais são todas essas supostas operações dessa atividade, assim como as causas que atuariam nessas operações. E até é normal que essas causas não tenham sido levantadas no *brainstorming* (chuva de idéias) para o Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação para fatores externos, já que as mesmas seriam externas ao ambiente da *Oil*

& *Gas Enterprise*, sendo, portanto, muito difícil a identificação dessas causas nesse contexto. Além do mais, não houve uma abertura para que um estudo como esse fosse feito, pois isso significaria que a *OIL & GAS Enterprise* estaria intervindo numa atividade que é, por natureza, de sua subcontratada. Ou seja, uma atividade de outra empresa.

Contudo, sabendo que reduções no tempo da atividade *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas pode representar ganhos expressivos no tempo médio de projeto, além do fato dessa atividade estar presente no caminho crítico do projeto (ver rodada 11), seria muito útil saber o quão sensível é o tempo médio do projeto como função da moda e do tempo pessimista da atividade *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas. Assim, uma análise de sensibilidade poderia direcionar futuras intervenções nas operações que constituem a atividade *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas, a fim de proporcionar ganhos finais no prazo do projeto, seja por reduções da moda ou no tempo pessimista dessa atividade. Como exemplo, o tempo pessimista pode estar associado a folga de máquinas, gerando elevada variabilidade no tempo das operações. Já a moda, essa pode estar associada a um mau ajuste de algum comando de uma máquina, gerando um viés no tempo de operações.

8.4.1. Análise de sensibilidade para a moda e para o tempo pessimista da atividade *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas.

A análise de sensibilidade em questão será realizada com base no melhor cenário obtido, até então, a rodada 11. Por meio da Tabela 15 e da Tabela 16, podemos perceber que o tempo médio do projeto é ligeiramente mais sensível à variações no tempo pessimista de realização da atividade do que na moda de realização da atividade. Ademais, o Gráfico 16¹³ mostra o comportamento dessas variações no tempo de

¹³ Observar os Modelos de Regressão Linear feitos para os pontos das curvas, a fim de se obter uma função matemática aproximada para cada gráfico. Observar que a derivada da curva *Tempo de projeto como função da moda* (y'_m) tem valor igual a 0,1573. Por outro lado, a derivada da curva *Tempo de projeto como função do tempo pessimista* (y'_p) tem valor 0,2799. Logo, o tempo médio de projeto é, apenas, ligeiramente mais sensível a variações no tempo pessimista da atividade do que na moda.

execução do projeto em função das variações na moda (gráfico 2 D em vermelho) e no tempo pessimista (gráfico 2D em azul).

Tabela 15 – Tempo médio de projeto como função da moda dos ensaios de laboratório de águas rasas

Moda do Tempo de Ensaio de Laboratório de Águas Rasas	Variável Resposta (Tempo de Projeto)
90	259,57
72	256,17
54	253,45
36	251,04

Tabela 16 – Tempo médio de projeto como função do tempo Pessimista dos ensaios de laboratório de águas rasas

Tempo Pessimista de Ensaio de Laboratório de Águas Rasas	Variável Resposta (Tempo de Projeto)
180	259,57
162	254,38
144	248,90
126	244,60

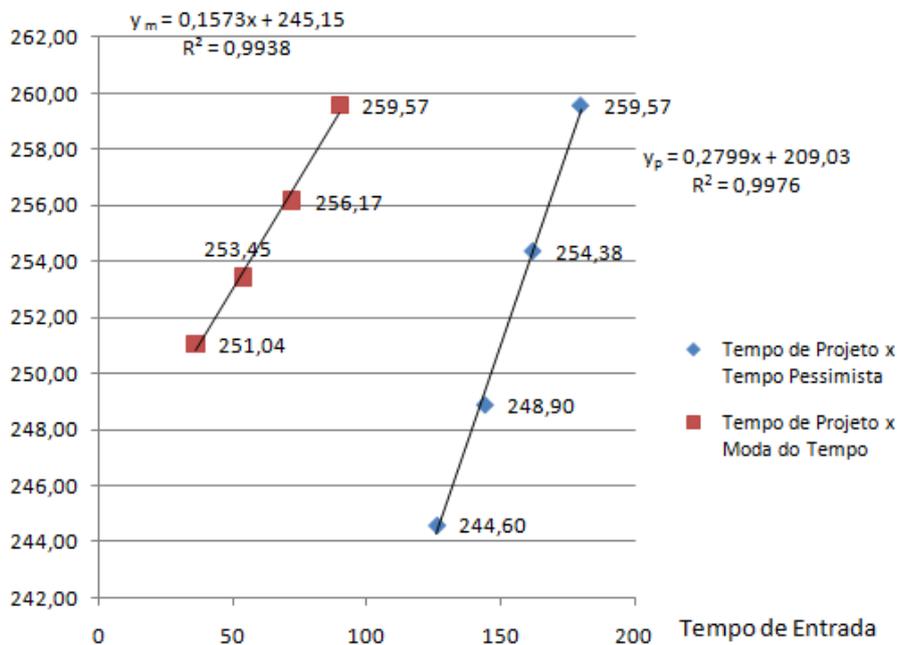


Gráfico 16 – Tempo médio de projeto para variações na moda e no tempo pessimista separadamente.

Por fim, segue agora uma análise de sensibilidade do tempo médio de projeto como função das duas variáveis conjuntamente: em tempo pessimista e na moda da atividade *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas. A Tabela 17 mostra o valor esperado para o tempo médio de projeto, como função do tempo pessimista e da moda para a etapa *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas. O Gráfico 17 mostra a respectiva resposta de superfície. Diferentemente do que fora até então apresentado, temos na Tabela 17 e no Gráfico 17 o resultado da interação conjunta entre moda e tempo pessimista no tempo médio de projeto.

Tabela 17 – Tempo médio de projeto como função da moda e do tempo pessimista para ensaios de laboratório de águas rasas.

$f(\text{Moda}, \text{Tempo Pessimista}) = y$. Tempo Otimista = 30	Tempo Pessimista de Ensaio de Laboratório de Águas Rasas				
		126	144	162	180
Moda do Tempo de Ensaio de Laboratório de Águas Rasas	36	238,52	242,15	246,15	251,04
	54	240,06	243,84	248,37	253,45
	72	242,54	246,3	251,01	256,17
	90	244,6	248,9	254,38	259,57

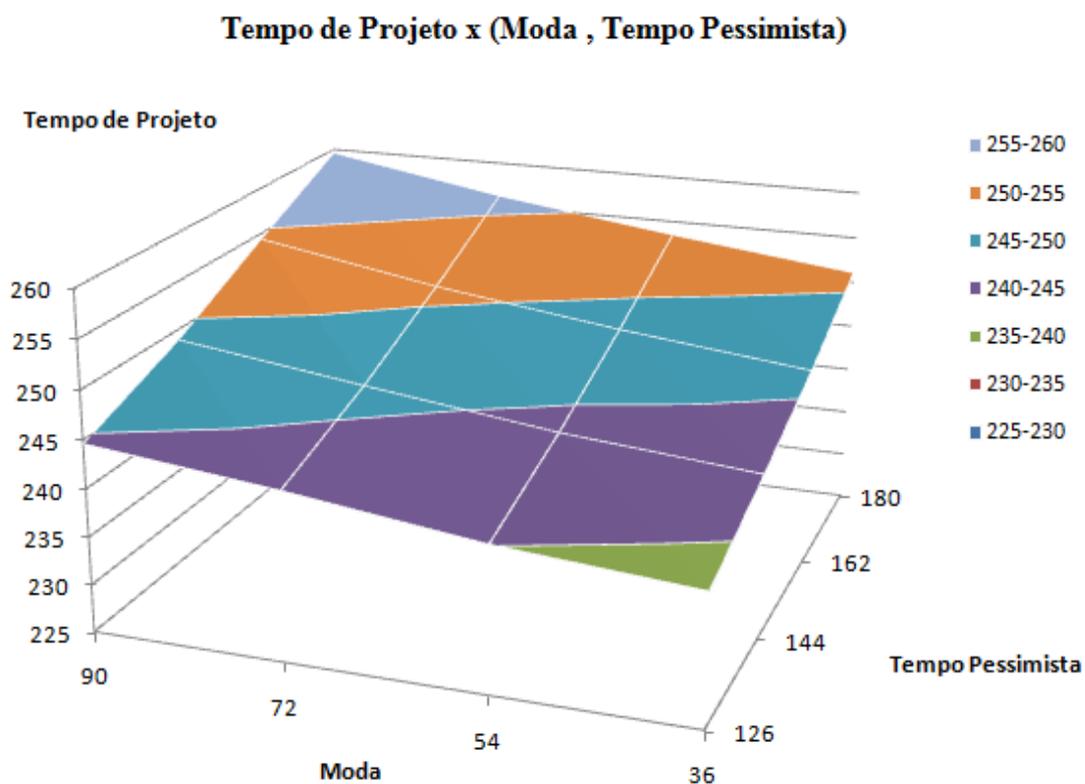


Gráfico 17 – Gráfico de resposta de superfície para a Tabela 17

Conforme se pode observar no Gráfico 17, o mesmo é ligeiramente mais sensível a variações no tempo pessimista da atividade *fazer ensaios de laboratório* de águas rasas do que na moda da mesma atividade. Observar que para um mesmo incremento de variação no Tempo Pessimista (18 dias, conforme mostrado no gráfico), o tempo médio de projeto sofre uma variação um pouco maior do que ocorreria caso o mesmo incremento fosse adotado na moda. Entretanto, essa diferença de influência no tempo médio do projeto não se mostra tão significativa a ponto de se recomendar atuar na redução do tempo pessimista em detrimento da moda, ou vice-versa. Além disso, a interação conjunta entre moda e tempo pessimista não proporciona impactos consideráveis no tempo médio de projeto.

8.5 Testes de hipóteses

Por fim, verificado que as rodadas 6 e 11 são rodadas em que se obtém ganhos de prazo em relação ao sistema estocástico atual (rodada 1), é necessário que seja verificado o quanto essas configurações do sistema são estatisticamente distintas da rodada 1, sob o nível de significância de 5%. Para isso, seguem os testes de hipóteses executados para a comparação de médias de dados emparelhados. Dessa forma, conforme a Tabela 18 e Tabela 19, respectivamente, podemos considerar as rodadas 6 e 11 distintas da rodada 1 (hipótese H0 rejeitada). Para maiores detalhes, ver apêndice A.4.

Tabela 18 – Comparação de médias de dados emparelhados para a rodada 6 em relação à rodada 1

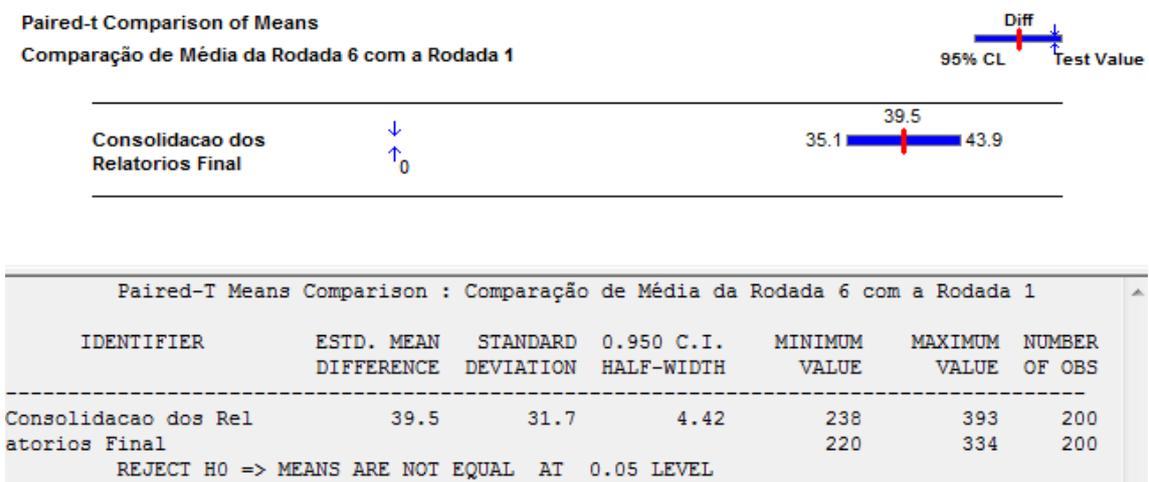


Tabela 19 – Comparação de médias de dados emparelhados para a rodada 11 em relação à rodada 1.



Paired-T Means Comparison : Comparação de Média da Rodada 11 com a Rodada 1						
IDENTIFIER	ESTD. MEAN DIFFERENCE	STANDARD DEVIATION	0.950 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS
Consolidacao dos Relatorios Final	51.4	32.5	4.53	238	393	200
				206	324	200
REJECT H0 => MEANS ARE NOT EQUAL AT 0.05 LEVEL						

8.6 Rodadas adicionais

Não se verificou a necessidade de rodadas adicionais, haja vista que se conseguiu obter o intervalo de confiança de 95% para todas as estatísticas, com a precisão desejada ($h < 5$ dias). Ressalta-se aqui a vantagem de se ter escolhido o número de replicações igual a 200 para cada rodada.

8.7 Documentação e relatório

Admitiremos como documentação e relatório o próprio desenvolvimento do referido trabalho. Para projetos de Simulação desvinculados do meio acadêmico, ressalta-se a necessidade de criação e arquivamento de diários referente ao projeto. Deve-se registrar tudo de relevante e que possa ser importante para a credibilidade do trabalho, para a reprodução do mesmo e, acima de tudo, para o aperfeiçoamento do modelo, a partir do ponto de parada do estudo em questão.

8.8 Implementação

Um ponto importante com relação à implementação, e que foi considerado no desenvolvimento do presente trabalho, é a praticidade de implementação da sugestão de melhoria. Se haverá vontade institucional de se implementar algum novo cenário, conforme sugerido neste trabalho, esse é um assunto não cabe no presente estudo.

Entretanto, considera-se claramente exposto e justificado a proposição de novos cenários para a execução do *Projeto de levantamento de dados Geofísicos e Geotécnicos para dutos submarinos* com ganhos em prazo.

8.9 Análise dos resultados e conclusões para a produção das rodadas

Primeiramente, executou-se o cenário que representa o que seria um modelo estocástico atual (modelo real atual do sistema) para a execução do projeto (rodada 1). Esse modelo contempla todas as aleatoriedades e processos de decisões que foram mapeados e descritos neste trabalho. Entretanto, é importante lembrar que essas aleatoriedades não são, necessariamente, todas as aleatoriedades possíveis de existir no sistema real, mas sim as que foram identificadas como as mais relevantes desse sistema. Observar que essa configuração mostrou um tempo de projeto de 399.9 dias para a probabilidade acumulada de realização de 100% e um tempo médio de projeto de 311 dias.

Posteriormente, seguiu-se com a execução das rodadas 2 e 3, apresentadas exclusivamente no apêndice. As mesmas possuem natureza bastante determinística. O intuito de ter-se realizado essas rodadas é de se entender como o modelo de Simulação se comporta quando são reduzidas ou eliminadas as aleatoriedades mapeadas no sistema. Na rodada 2, não há nenhum tipo de aleatoriedade envolvida. São atribuídos os tempos das atividades com os seus respectivos valores de moda. Além disso, os processos de decisões foram todos programados para aprovação em 100% das vezes. Esse modelo previu um tempo de projeto de 285,08 dias. Já na rodada 3, a diferença é que os processos de decisões seguem os critérios de aprovação conforme mapeados neste trabalho. Esse último modelo é o que mais se aproximou do modelo de lógica PERT/CPM da *OIL & GAS Enterprise*, tanto é que o mesmo forneceu uma previsão de tempo médio de projeto de 289,65 dias, enquanto a ferramenta PERT/CPM previu 289,5 dias de projeto. Esse último é um dado de entrada para o presente estudo, assim como o tempo real de projeto que foi de 334 dias.

Considerando esse tempo real de projeto, e com base no que fora até então discutido, chega-se a uma conclusão notória: o tempo médio de projeto previsto pelo modelo de Simulação do sistema estocástico atual (311 dias), com precisão estatística de 4,6 dias, foi mais próximo ao prazo real do projeto, se comparado com a previsão feita pela ferramenta PERT/CPM (289,5 dias) da Oil & Gas Enterprise.

Com as rodadas de 4 à 10, começou-se a estudar as variações dos fatores internos, começando pela *diferença entre instante de tempo de início entre águas rasas e profundas*, item 8.2. A configuração escolhida foi a rodada 6, dentre todas as alternativas testadas das rodadas de 4 à 10, pois proporcionou o menor tempo médio de projeto. Esse cenário representa uma configuração do sistema *começando o trecho de águas rasas do projeto conjuntamente com o trecho de águas profundas*. O mesmo seria um ponto de mínimo local, em comparação com as outras alternativas testadas, se nenhuma outra configuração do modelo variar. Essa configuração representa um tempo de projeto de 339,9 dias para a probabilidade acumulada de realização do projeto de 100%, já o seu tempo médio de projeto foi de 271,49 dias. Essa configuração apresentou um ganho de 39,51 dias de tempo médio de projeto em relação à configuração da rodada 1. Por fim, uma informação relevante refere-se ao fato de que a análise da rodada em questão mostrou que quanto mais sincronizados estão o início do trecho de águas rasas e o de profundas, maior é o ganho em prazo.

Escolhido o cenário da rodada 6, buscou-se avaliar as alternativas referentes a adição de recursos, ou seja, as rodadas de 11 à 21, item 8.3. O cenário da rodada 11 foi a configuração escolhida, pois obteve-se o menor tempo médio de projeto dentre todas as alternativas testadas com baixo custo de implantação. Essa rodada apresentou um tempo de projeto de 329,9 dias para a probabilidade acumulada de realização de 100% e tempo médio de projeto de 259,57 dias. Além disso, a mesma apresentou um ganho de 11,92 dias em relação ao cenário da rodada 6, até então o melhor cenário.

Apesar do ganho de prazo em várias rodadas simuladas em relação à configuração do sistema atual, sugere-se a adoção das alternativas referentes à rodada 6 (começando águas rasas junto com águas profundas) ou a rodada 11 (começando águas rasas junto com águas profundas e uso de 1,5 EGF). Ambas as alternativas representam ganhos de prazo em relação à rodada 1, com o diferencial de que para a alternativa da rodada 6, o custo de implantação é zero, enquanto que para a alternativa referente à rodada 11, o custo de implantação é baixo.

Encerrada a avaliação dos fatores internos e escolhido, até então, o melhor cenário como sendo a rodada 11, iniciaram-se as rodadas para avaliação dos fatores externos. Como não se obtiveram respostas para as causas do elevado tempo da atividade *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas, concentrou-se na realização de uma análise de

sensibilidade para essa atividade, item 8.4.1. Essa análise de sensibilidade testou a influência do tempo pessimista e da moda dessa atividade no tempo médio de projeto. Pela análise de sensibilidade realizada, conclui-se que o tempo médio de projeto é apenas ligeiramente mais sensível a variações no tempo pessimista dessa atividade do que na sua moda. Dessa forma, não há nenhum ganho expressivo quando atua-se na redução do valor do tempo pessimista em detrimento da moda, ou vice e versa.

Com relação ao sistema em estudo, existe um equívoco não raro de ser cometido: considerar que o tempo médio de projeto para uma rodada é, necessariamente, a soma dos tempos médios dos trechos de projeto que compõem, em média, o caminho crítico da rodada. A explicação para se evitar esse equívoco de interpretação é simples: ao observar que uma rodada possui um caminho crítico, na média, lembrar que podem existir replicações em que o caminho crítico não coincide com o caminho crítico médio de toda a rodada. Nesse caso, o tempo médio de projeto pode ser maior do que a soma do tempo médio de cada trecho do caminho crítico somado. A rodada 6¹⁴, por exemplo, apresenta essa situação.

Por fim, realizaram-se dois Testes de Hipóteses para a comparação de médias com dados emparelhados. Um, comparando estatisticamente o resultado da rodada 6 em relação à rodada 1. O outro, comparando a rodada 11 em relação à rodada 1. Para o nível de significância de 5%, não há evidências estatísticas de que as medidas de desempenho, tempo médio de projeto, para as rodadas 6 e 11 sejam iguais a medida de desempenho da rodada 1. Ou seja, admite-se que o tempo médio de projeto para a rodada 6 e para a rodada 11 são distintos do tempo médio de projeto da rodada 1.

¹⁴ Tempo de Geofísica de águas rasas (96,34 dias) + Tempo de Geotecnia de águas rasas (165,21 dias) = Caminho crítico médio do projeto (261, 55 dias) ≠ Tempo médio de projeto para a rodada = 271,49 dias

9. CONCLUSÕES

O uso da Simulação de Eventos Discretos se mostrou uma rica ferramenta para a análise de cenários do projeto com foco em risco de prazo. Destaca-se a grande variedade de aspectos do sistema real, que o modelo de Simulação (modelo matemático) foi capaz de contemplar. Essa riqueza de aspectos pode ser “traduzida” pelas inúmeras aleatoriedades do sistema real que foram consideradas no modelo de Simulação. A capacidade de incorporação de inúmeros fenômenos aleatórios, como foi feito no modelo de Simulação, é algo que ainda nenhuma ferramenta analítica em gerenciamento de projetos é capaz de proporcionar. Por intermédio de uma curva de distribuição de probabilidade acumulada do tempo de projeto em cada rodada, obteve-se um instrumento consistente de avaliação e de comparação de cenários para a tomada de decisão. Em suma, é possível obter-se a probabilidade acumulada de que o projeto seja concluído em até certo prazo. Ou ainda, obter-se o prazo do projeto com 100% de probabilidade de realização, *conforme as considerações e aleatoriedades mapeadas no sistema para este estudo.*

Duas medidas de desempenho serviram para a avaliação e a comparação de cenários, conforme os objetivos estabelecidos neste trabalho. Para o primeiro objetivo estabelecido no trabalho, duas medidas de desempenho foram adotadas: *tempo de projeto para a probabilidade acumulada de realização de 100%* e *tempo médio de projeto*; a segunda medida de desempenho servindo apenas para o desempate entre dois cenários. Com relação ao segundo objetivo, utilizou-se como medida de desempenho apenas o *tempo médio de projeto.*

Com relação ao primeiro objetivo deste estudo, chegou-se a vários cenários (rodadas) possíveis de operação do sistema, os quais representam reduções de prazo de projeto em relação ao sistema atual. Esse último é representado pelo modelo estocástico atual (rodada1). Entretanto, dois cenários são sugeridos como soluções finais para o sistema: *começando o trecho de águas rasas junto com o de águas profundas* (rodada 6) e o cenário *começando o trecho de águas rasas junto com o de águas profundas e adição de 1,5 engenheiro geotécnico final* (rodada 11). Essas alternativas apresentam reduções consideráveis no tempo de projeto em relação ao sistema atual, a custo zero, e a baixo custo, respectivamente. Ou seja, exatamente conforme o primeiro objetivo. É bom

lembrar que ganhos em prazo a custo zero de implantação era algo que não se tinha certeza no início deste trabalho, apenas se desejava.

Ainda em relação ao primeiro objetivo, observou-se uma questão a ser salientada. Ao longo do presente trabalho, as atividades *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas e *fazer ensaios de laboratório* para águas profundas foram identificadas como os dois grandes gargalos do sistema. Com o desenvolvimento dessa etapa do estudo, concluiu-se que seria melhor focar exclusivamente na análise da atividade *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas. Como não se conseguiu identificar e atuar nas causas que geram o elevado tempo de execução dessa atividade, não foi possível uma proposição de intervenção nessa atividade, de maneira a reduzir o seu tempo de realização. Além disso, a análise de sensibilidade realizada para essa atividade mostrou que variações da moda e do tempo pessimista, referente ao tempo de realização dessa atividade, possuem impactos similares no tempo de execução da atividade. Entretanto, surge um ponto de alerta. Na única visita realizada à empresa subcontratada C – empresa que executa a atividade *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas – verificou-se que a operação de cisalhamento direto, supostamente a operação mais demorada dentro da atividade *fazer ensaios de laboratório* para águas rasas, estava com as suas quatro máquinas ociosas. Esse contexto pode ser um ponto de intervenção, já que as máquinas que constituem as operações críticas devem ser utilizadas, se possível, de maneira ininterrupta, para melhor aproveitamento do tempo.

Ademais, com relação ao segundo objetivo deste trabalho, constatou-se que o tempo real de projeto foi maior do que a previsão feita pela ferramenta PERT/CPM da Oil & Gas Enterprise. Com isso, ao utilizar o modelo de Simulação para o estudo do sistema atual, verificou-se que o modelo de Simulação forneceu uma previsão para o prazo do projeto mais próxima ao prazo real, se comparado com a previsão realizada pela ferramenta PERT/CPM. Além disso, a previsão feita pelo modelo de Simulação foi obtida com boa precisão estatística.

Com relação ao uso do *senso comum* como ferramenta de tomada de decisão, o presente trabalho sugere como esse tipo de prática pode levar a conclusões equivocadas. Uma situação ilustra bem essa questão no presente trabalho: considerar que o tempo médio de projeto de uma rodada é, necessariamente, a soma dos tempos médios dos trechos que

compõem, em média, o caminho crítico dessa rodada. Conforme visto no trabalho, essa inferência pode estar equivocada, dependendo do cenário (rodada) em análise.

No que tange à modalidade de projeto propícia ao emprego da Simulação de Eventos Discretos, pode-se dizer que o uso dessa metodologia seria muito bem vinda para o gerenciamento de prazo de projetos repetitivos. Especialmente, daqueles que possuem elevados riscos com impactos potenciais em prazo. A característica de ser repetitivo é desejável, na medida em que seria possível utilizar dados históricos para a modelagem matemática de fenômenos aleatórios presentes no projeto. Além disso, um projeto repetitivo possibilita que o conhecimento proveniente da experiência das pessoas envolvidas com essa modalidade de projeto possa ser usado para a calibração do modelo de Simulação. Dessa forma, aumentar-se-ia a precisão do que o modelo de Simulação do sistema “estaria dizendo” em relação ao sistema real.

Por fim, surge uma questão eminente que provem dos estudos realizados neste trabalho, constituindo-se, assim, um assunto motivador de pesquisas futuras. Será que um modelo de Simulação sempre conseguiria prever o prazo de realização de um projeto melhor do que uma ferramenta PERT/CPM? Isso poderia ser *generalizado para quais tipos de projeto*? Nesse contexto, qual o papel a ser assumido pela Simulação?

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOURIZK, S.M., Wales, R.J., 1997, “Combined discrete-event/continuous simulation for project planning”, *Journal of Construction Engineering And Management*, v.123, n°1, pp.11-20.

ADLER, M.J., DOREN, C.V., 1972, *How to Read a Book: The Classic Guide to Intelligent Reading*, New York, Touchstone Books.

ANTAKI, G.A, 2003, *Piping and Pipeline Engineering: design, construction, maintenance, integrity and repair*. South Carolina, USA, Marcel Dekker.

ARAUJO, T.S., 2007, *Um Plug-In Que Integra Um Simulador De Projetos A Uma Ferramenta De Gerenciamento De Projetos. Graduação. Dissertação*, Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, CE.

ARTTO, K.A., LEHTONEN, J.M., SARANEN, J., 2001, “Managing projects front-end: incorporating a strategic early view to project management with simulation”, *International Journal of Project Management*, v.19, pp. 255-264.

BAE, D.H., CHOI, K., 2009, “Dynamic Project Performance Estimation by Combining Static Estimation Models with System Dynamics”, *Information and Software technology*, v.51, pp.162-172.

BANKS, J., II CARSON, J.S., NELSON, B.L., *et al*, 2010, *Discrete-Event System Simulation*, 5° ed, Upper Sandle River, New Jersey, Prentice Hall.

BARGSTÄDT, H.J., BLICKLING, A., 2005, “Determination of Process Durations on Virtual Constructions Sites”.In: *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, pp.1549-1558.

BARROS, M.O., 2001, *Gerenciamento De Projetos Baseado Em Cenários: Uma Abordagem De Modelagem Dinâmica E Simulação*. D.Sc. Dissertação, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

BARROS, M.O., WERNER, C.M.L., TRAVASSOS, G.H., “Using Process Modeling and Dynamic Simulation to Support Software Process Quality Management.”, Computer Science Department – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ.

BEHZADAN, A.H., KAMAT, V.R., 2007, “Enabling Smooth and Scalable Dynamic 3D Visualization of Discrete-Event Construction Simulations in Outdoor Augmented reality”. In: *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, pp.2168-2176.

BEHZADAN, A.H., KAMAT, V.R., 2008, “Simulation and Visualization of traffic Operations in Augmented Reality for Improved Planning and Design of Road Construction Projects”. In: *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, pp.2447-2454.

BERNY, J., TOWNSEND, P.R.F., 1993, “Macrosimulation of Project Risks – A Practical Way Forward”, *International Journal of Project Management*, v.11, n°4, pp.201-208.

BOOTH, W.C., COLOMB, G.G., WILLIAMS, J.M., 2008, *The Craft of Reaserch*, 3rd ed.Chicago, London, University of Chicago Press.

CATES, G.R, 2004, *Improving Project Management with Simulation and Completion Distribution Functions*. PhD. Dissertation, University of Central Florida, Orlando, Florida.

CHINBAT, U., TAKAKUWA, S., 2009, “Using Simulation Analysis for Mining Project Risk Management”. In: *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, pp.2612-2623.

CHWIF, L., MEDINA, A.C, 2007, *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos, Teoria & Aplicações*, 2°ed. São Paulo, Bravarte.

COELHO, D., K., JACINTO, C.M.C., ROISENBERG, M., *et al*, 2005, “Risk Assessment of Drilling and Completion Operations in Petroleum Wells Using a Monte Carlo and Neural Network Approach”. In: *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, pp.1892-1897.

COR, H., MARTINEZ, J.C., 1999, "A Case Study in the Quantification of a Change in the Conditions of a Highway Construction Operation". In: *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, pp.1007-1009.

DESCHAINED, L.M., PACK, S.R., ZAFRAN, F.A., *et al*, "Project Risk Quantifier And Optimal Project Accelerator – Using Machine Learning And Stochastic Simulation To Optimize Project Completion Dates And Costs", Science Application International Corporation.

DINSMORE, P.C., CAVALIERI, A., 2005, *Como Se Tornar um Profissional em Gerenciamento de Projetos: Livro-Base de Preparação para Certificação PMP*, 2ªed. Rio de Janeiro, Qualitymark.

DZENG, R.J., LEE, H.Y., 2007, "Optimizing the Development Schedule of Resort Projects by Integrating Simulation and Genetic Algorithm", *International Journal of Project Management*, v.25, pp.506-516.

ECO, U., 2008, *Como se faz uma Tese*, 21 ed, São Paulo, Editora Perspectiva.

ELKJAER, M., 2000, "Stochastic Budget Simulation", *International Journal of Project Management*, v.18, pp.139-147.

FORD, D.N., STERMAN, J.D., "Overcoming the 90% Syndrome: Iteration Management in Concurrent Development Projects".

FORGIE, C., 2008, *Discrete Event Simulation (DES) Modeling And Analysis For Strategic Program Planning And Management*. PhD. Dissertation, Department of Industrial Engineering, University of Louisville, Louisville.

FREITAS FILHO, P.J., 2008, *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena*, 2ª ed, Florianópolis, Visual Books.

GAYWAL, L., 2004, "Quantitative Risk analysis for Project Management: A Critical Review", RAND working paper, The RAND Corporation, WR-112-RC, Santa Mônica, Califórnia.

GONÇALVES, J.F., MENDES, J.J.M., RESENDE, M.G.C., 2008, “A Genetic Algorithm for the Resource Constrained Multi-Project Scheduling Problem”, *European Journal of Operational Research*, v.189, pp.1171–1190.

GOTTFRIED, B.S., 1984, *Elements of Stochastic Process Simulation*. New Jersey, Prentice-Hall.

HAGA, W.A., 2001, “Crashing Pert Networks: A Simulation Approach”, In: *Proceedings of the International Conference of the Academy of Business and Administrative Sciences Conferences*, pp.1-15.

HERBERT, J.E., 1979, “Applications of Simulation in Project Management”. In: *Proceedings of the 1979 Winter Simulation Conference*, pp.211-219, Maryland.

HERROELEN, W., LEUS, R., 2004, “The Construction of Stable Project Baseline Schedules”, *European Journal of Operational Research*, v.156, pp.550-565.

HERROELEN, W., LEUS, R., 2005, “Project Scheduling under Uncertainty: Survey and Research Potentials”, *European Journal of Operational Research*, v.165, pp.289-306.

HUANG, E., CHEN, S.G., 2006, “Estimation of Project Completion Time and Factors Analysis for Concurrent Engineering Project Management”, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, v.14, n° 4, pp. 329-341.

IJMP, EDITORIAL, 2010, “Evolution of Project Management Research as Evidenced by Papers Published in The International Journal of Project Management”, *International Journal of Project Management*, v.28, pp.1-6.

JACINTO, C.M.C., 2002, “Discrete Event Simulation for the Risk of Development of and Oil Field”. In: *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, pp.1588-1592.

JAHANGIRIAN, M., ELDABI, T., NASEER, A. *et al*, 2010, “Simulation in Manufacturing and Business: A Review”, *European Journal of Operational Research*, v.203, pp.1-13.

KELTON, W.D., 2000, “Experimental Design for Simulation”. In: *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, pp.32-38.

KELTON, W.D., SADOWSKI, R.P., SWETS, N.B., 2010, *Simulation with Arena*. 5° ed. International Edition, New York, McGraw-Hill.

KE, H., LIU, B., 2005, “Project Scheduling Problem with Stochastic Activity Duration Times”, *Applied Mathematics and Computation*, v. 168, pp.342–353.

KHOSHNEVIS, B., 1994, *Discrete Systems Simulation*. International Edition, Series in Industrial Engineering and Management Science, Singapore, McGraw-Hill.

KLEIJNEN, J.P.C., 2001, “Experimental Design for Sensitivity Analysis of Simulation Models”. In: *Proceedings of the Eurosim 2001 Conference*.

KOLLTVEIT, B.J., KARLSEN, J.T., GRONHAUG, K., 2007, “Perspectives on Project Management”, *International Journal of Project Management*, v.25, pp.3-9.

KOUSKOURAS, K.G., GEORGIU, A.C., 2007, “A Discrete Event Simulation Model in the Case of Managing a Software Project”, *European Journal of Operational Research*, v.181, pp.374-389.

KUHL, M.E., TOLENTINO-PEÑA, R.A., 2008, “A Dynamic Crashing Method for Project Management Using Simulation-Based Optimization”. In: *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, pp.2370-2376.

KURIHARA, K., NISHIUCHI, N., 2002, “Efficient Monte Carlo Simulation Method of GERT-type Network for Project management”, *Computers & Industrial Engineering*, v.42, pp.521–531.

KWAK, Y.H., INGALL, L., 2007, “Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management”, *Risk management*, v.9, pp.44-57.

LAW, A.M., 2007, *Simulation Modeling & Analysis*. 4° ed. International Edition, New York, McGraw-Hill.

LAWRENCE, F.P., COCHRAN, J.K., 1995, "A New Computational Approach for Project Management Networks", In: *International Conference on Computers and Industrial Engineering*, v.29, n°1-4, pp.339-343.

LEE, D.E., 2005, "Probability of Project Completion Using Stochastic Project Scheduling Simulation (SPSS)", *Journal of Construction Engineering and management*, ASCE, v.131, n°3 (fev), pp.310-318.

LEE, D.E., ARDITI, D., 2006, "Automated Statistical Analysis in Stochastic Project Scheduling Simulation", *Journal of Construction Engineering and management*, v.132, n°3, pp. 268-277.

LEE, D.E., SHI, J.J., 2004, "Statistical Analysis for Simulating Schedule Network". In: *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, pp.1283-1289.

LEE, S.H., MORA, F.P., 2005, "System Dynamics Approach for Error and Change Management in Concurrent Design and Construction". In: *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, pp.1508-1514.

LEE, S.H., PEÑA-MORA, F., PARK, M., 2006, "Dynamic Planning and Control Methodology for Strategic and Operational Construction Project Management", *Automation in Construction*, v.15, pp.84-97.

MCCABE, B., 2003, "Monte Carlo Simulation for Schedule Risks". In: *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, pp.1561-1565.

MEREDITH, J.R., MANTEL, S.J., 2000, *Administração de Projetos: Uma Abordagem Gerencial*, 4ªed. John Wiley & Sons.

MOELLER, G.L., DIGMAN, L.A., 1981, "Operations Planning with VERT", *Operations Research*, v.29, n°4, p.676.

MONGALO, M.A., LEE, J., 1990, "A Comparative Study of Methods for Probabilistic Project Scheduling", In: *International Conference on Computers and Industrial Engineering*, v.19, n°1-4, pp.505-509.

NANCE, R.E., SARGENT, R.G., 2002, "Perspectives on the Evolution of Simulation", *Operations Research*, INFORMS, v.50, n°1, pp. 161 -172.

- NETO, P.L.O.C, 2002, *Estatística*, 2 ed, Edgard Blücher, São Paulo.
- OAKSHOTT, L., 1997, *Business Modelling and Simulation*. 1 ed. London, Pitman Publishing.
- OTTJES, J.A., VEEKE, H.P.M., 2000, “Project Management with Simulation: critical view on the critical path”. In: Proceedings of the ICSC Symposia on Intelligent System & Applications, Wollongong, Australia, Dec. ISBN-3-906454-24-X.
- PALMER, A.C, KING, R.A., 2008, *Subsea Pipeline Engineering*, 2nd ed. Oklahoma, Penn Well.
- PIDD, M., 2004, *Computer Simulation in Management Science*. 5 ed. Chichester, John Wiley & Sons.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004, ANSI/PMI 99-001-2004, Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos: Guia PMBOK. 3^{ed}. Newton Square, Pennsylvania.
- RAFFO, D., HARRISON, W., “Combining Process Feedback with Discrete Event Simulation Models to Support Software Project Management”.
- RODRIGUES, A., BOWERS, J., 1996, “The Role of System Dynamics in Project Management”, *International Journal of Project Management*, v.14, n^o4, pp.213-220.
- SILVA, L.B.G., 2009, “Utilização de Simulação e Análise de Superfície de Resposta FUZZY na Minimização de Recursos em Projetos não Repetitivos”. In: SPOLM 2009, PP.1-13.
- SIMMONS, L., 2002, “Project Management – Critical Path Method (CPM) and PERT Simulated with Processmodel”. In: *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, pp.1786-1788.
- SOARES, L.F.G., 1992, *Modelagem e Simulação Discreta de Sistemas*. Rio de Janeiro, Editora Campus.

- SRISUWANRAT, C., IOANNOU, P.G., 2007, “Optimal Scheduling of Probabilistic Repetitive Projects Using Completed Unit and Genetic Algorithms”. In: *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, pp.2151-2158.
- SU, C.T., SANTORO, M.C., 2006, “Gerenciamento de Risco de Prazo”, In: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, pp.1-10, Fortaleza, CE, Brasil, outubro.
- TAVARES, L.V., 2002, “A Review of the Contribution of Operational Research to Project Management”, *European Journal of Operational Research*, v.136, pp.1-18.
- TRAVASSOS, P.R.N., KIENBAUM, G.S., “Gerenciamento de Projetos e Simulação de Processos: Uma Abordagem Integrada.”, Laboratório de Computação e Matemática Aplicada, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos – SP.
- VAN DORP, J.R., DUFFEY, M.R., 1999, “Statistical Dependence in Risk Analysis for Project Networks Using Monte Carlo Methods”, *International Journal of Production Economics*, v.58, pp.17-29.
- VONDER, S.V., BALESTÍN, F., DEMEULEMEESTER, E., *et al*, 2007, “Heuristic Procedures for Reactive Project Scheduling”, *Computers & Industrial Engineering*, v.52, pp.11–28.
- WANG, W.C., 2005, “Impact of Soft Logic on the Probabilistic Duration of Construction Projects”, *International Journal of Project Management*, v.23, pp.600-610.
- WILLIAMS, T., 2003, “The Contribution of Mathematical Modelling to the Practice of Project Management”, *Management Science: Theory, Method & Practice*, 2003-4, pp.1-41.
- WILLIAMS, T.M., 2000, “Safety Regulation Changes During Projects: The Use of System Dynamics to Quantify the Effects of Change”, *International Journal of Project Management*, v.14, pp.23-31.
- WILLIAMS, T., 1995, “A Classified Bibliography of Recent Research Relating to Project Risk Management”, *European Journal of Operational Research*, v.85, pp.18-38.

11. APÊNDICES

A.1 Descrição das etapas de um estudo de Simulação.

Segue abaixo uma descrição detalhada do que se entendeu como sendo o melhor de cada definição das etapas de um estudo de Simulação:

1. *Formulação do problema*: Conforme o próprio nome diz, consiste em se definir com acurácia e clareza o problema prático que se deseja solucionar. Entretanto, é bom lembrar que raramente o problema se apresenta claramente definido no início pelo cliente (o que possui o problema), exigindo grande esforço do analista de Simulação na caracterização e descrição do problema. Inclusive, é comum que a formulação do problema sofra revisões conforme o estudo avança. Por isso, é fundamental a presença e concordância do cliente com as sucessivas reformulações.

2. *O estabelecimento dos objetivos e planejamento geral do projeto*: Os objetivos devem ser estabelecidos de maneira a “conversar” com o problema conforme formulado. Também devem indicar as perguntas que devem ser respondidas via o estudo de Simulação. Entretanto, é importante todo um cuidado para não se estabelecer objetivos conflitantes. Nessa etapa, deve-se definir se a Simulação é, de fato, a metodologia adequada para o problema, conforme formulado, e para os objetivos conforme declarados. Definido que a Simulação é a metodologia a ser utilizada, o planejamento geral do projeto deve declarar as possíveis alternativas de funcionamento do sistema e o método de avaliação da efetividade dessas alternativas. Além disso, deve-se estimar o número de pessoas necessárias a serem envolvidas no estudo, o custo do estudo, o prazo para cada etapa do estudo, juntamente com os resultados esperados em cada etapa.

3. *Conceitualização do modelo*: É a construção do modelo conceitual que representará o sistema em estudo. É tida como uma mistura de arte e de ciência, haja vista que não há uma receita universal e infalível para essa etapa. Contudo, existem algumas regras ou diretrizes que costumam produzir bons resultados. Em especial, considerar que a arte da modelagem é tão mais bem sucedida quanto maior for a capacidade do analista de Simulação em perceber as características mais fundamentais e representativas de um sistema. Isso inclui, é claro, a capacidade de se modificar hipóteses a respeito do

sistema, até que o modelo forneça uma representação satisfatória do sistema real. São as definições das estruturas fundamentais e conceituais do sistema real a serem consideradas no modelo. Nessa etapa, é levantada uma relação de atividades, de eventos e de entidades relevantes envolvidas no modelo e se defini os limites do sistema o qual se está estudando. Isso inclui observar as hipóteses que estão sendo consideradas, lembrando da filosofia de quanto mais simplista o modelo, melhor, desde que, é claro, o mesmo não perca aderência com a realidade. A participação do cliente é muito recomendada nessa etapa.

4. *Coleta de dados*: Deve ser um processo contínuo e ocorrer em paralelo ao desenvolvimento do modelo, pois, conforme a complexidade do mesmo mudar, pode ser necessária a coleta de mais dados. Como é uma etapa trabalhosa, deve ser iniciada tão cedo quanto possível. Entretanto, deve-se ter muito critério e cuidado ao executá-la: lembrando do dito “*garbage in, garbage out*” (se coletar “lixo”, o modelo mostrará “lixo”). Ou seja, se ocorrer uma coleta de dados incorreta, certamente os resultados do modelo simulado não vão ser aderentes com a realidade, e para nada vão servir.

5. *Tradução do modelo*: Consiste na “tradução” do modelo conceitual (modelagem) em uma linguagem de programação, de Simulação, ou até mesmo na utilização de um simulador computacional para se representar, computacionalmente, o modelo. Os pacotes comerciais de Simulação são os mais utilizados, pois a construção de um modelo de Simulação via programação pode consumir um tempo intolerável. Além disso, os softwares de Simulação possuem cada vez mais flexibilidade de modelagem.

6. *Verificação*: Essa etapa está relacionada com a implementação computacional do modelo. A mesma pode ser definida como uma atividade de se descobrir os possíveis bugs que eventualmente estejam presentes, após a implementação computacional do modelo. Se os parâmetros de entrada do modelo e a estrutura lógica estão corretamente representados, a etapa de verificação encerra-se.

7. *Validação*: A validação do modelo conceitual é uma tarefa inversa ao da modelagem. Enquanto que na modelagem tentamos enxergar o mundo real e traduzi-lo em um modelo; na Validação, olhamos o modelo e tentamos enxergar se o mesmo está representando satisfatoriamente o sistema real, principalmente nos seus aspectos mais relevantes. A validação é alcançada com a *calibração* do modelo, ou seja, com uma

atividade interativa de comparar os resultados do modelo com o sistema real. Esse processo é repetido até que a acurácia do modelo for julgada como aceitável.

8. *Projeto de Experimentos*: É a etapa em que se precisa projetar um conjunto de experimentos, para se obter as informações adequadas, a fim de subsidiar conclusões com o menor número possível de experimentos. É fundamental a definição de informações como: as alternativas a serem simuladas, o tempo de “warm up”¹⁵ (se necessário), o tempo de Simulação das rodadas¹⁶, o número de replicações¹⁷ para cada rodada, *a medida de desempenho do sistema, a determinação dos principais fatores associados aos experimentos*, os níveis associados a cada fator no experimento, etc.

9. *Produção das Rodadas e Análise dos resultados*: É a etapa¹⁸ em que ocorrem as experimentações e a análise das alternativas de operação do sistema, tendo por base a(s) medida(s) de desempenho que “traduzem” os objetivos do estudo de Simulação. É a fase de estudo de cenários (alternativas) para a execução do modelo, para que se entenda o seu comportamento, a fim de se inferir sobre o comportamento do sistema real. Essa etapa fornece *subsídio numérico*¹⁹, por meio das medidas de desempenho, para a escolha de cenários e reformulações de operação do sistema, com o objetivo de se eliminar o problema inicial. É comum o uso de muitas ferramentas estatísticas, como

¹⁵ Warm up é o período transiente em que um sistema está submetido.

¹⁶ Refere-se ao que ocorre quando acionamos o comando que executa a simulação CHWIF (2007).

¹⁷ Replicação é uma repetição da simulação do modelo, com a mesma configuração, a mesma duração, e com os mesmos parâmetros de entrada, mas com uma semente de números aleatórios diferentes. A cada replicação, os valores de saída são diferentes, já que os números pseudo-aleatórios gerados também o são CHWIF (2007).

¹⁸ Nessa etapa, já é preciso ter sido definida, e de maneira muito criteriosa, *a(s) medida(s) de desempenho* que deve representar os objetivos que motivaram a criação do modelo de Simulação.

¹⁹ Em cada replicação, de uma certa rodada, a medida de desempenho assumi, em princípio, valores distintos. No final da rodada, é apresentada uma média para a medida de desempenho, composta pelos valores da medida de desempenho obtidos em cada replicação. Em princípio, de rodada para rodada, a média da medida de desempenho assumi valores distintos. A escolha do cenário a ser adotado está normalmente baseada na comparação entre as médias das medidas de desempenho de cada rodada.

intervalos de confiança e testes de hipóteses, a fim de se comparar e fazer escolhas entre cenários alternativos.

10. *Rodadas adicionais*: Feita a análise dos resultados das rodadas executadas, o analista determina se são necessárias mais rodadas de algum cenário a ser simulado.

11. *Documentação e Relatório*: Essa etapa é composta de dois tipos de documentação: a do modelo (programa ou software) e a do progresso do estudo. A documentação do modelo é necessária em função de várias razões: re-utilização do modelo pelo mesmo analista, ou por outro; facilitar o aproveitamento desse modelo por outros usuários, para outros fins; facilitar o entendimento das relações entre os parâmetros de entrada e os de saída, principalmente em estudos em que se busca identificar quais parâmetros têm maior influência nos resultados de saída. No caso da documentação do progresso do estudo, essa é uma etapa em que se registram, de maneira organizada e o mais detalhada possível, todas as fases que compuseram o estudo de Simulação. Segundo CHWIF (2007), existem três grandes razões para que essa etapa seja muito bem executada: a primeira razão é que quando um projeto é mal documentado, isso dificulta o entendimento das conclusões, assim como compromete a credibilidade das mesmas; a segunda razão é que uma boa documentação é sempre necessária para o processo de verificação e de validação, principalmente quando isso é feito por pessoas externas ao projeto; a terceira razão é que um projeto bem documentado representa a possibilidade de retomá-lo e aprimorá-lo.

12. *Implementação*: Consiste no quanto os estudos realizados servirão de base para ações práticas. Depende de inúmeros fatores, mas principalmente da qualidade com que foram desenvolvidas todas as etapas anteriores, além do envolvimento do cliente. Quando esse envolvimento não ocorre, dificilmente a implementação é feita na sua plenitude e com confiança por parte do cliente.

A.2 Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação

Segundo KELTON (2000), entender o comportamento de um sistema via modelo de Simulação por tentativa e erro é um meio muito ineficiente de se estudar as características fundamentais desse sistema. Nesse contexto, o **Projeto de Experimento Estatístico com Simulação** apresenta-se como uma ferramenta muito útil, principalmente nos estágios iniciais de um estudo de Simulação, quando não se sabe, a princípio, quais fatores mais influenciariam a variável resposta do modelo (LAW, 2007). Dessa forma, o principal objetivo de um **Projeto de Experimento Estatístico com Simulação** é saber o quão sensível é a variável resposta do modelo de Simulação em relação a variações nos níveis dos fatores escolhidos para essa análise. Assim, procura-se um *insight* (um panorama) de como o sistema irá se comportar com a produção das rodadas, propriamente ditas, segundo o nível dos fatores recomendados pelos resultados do **Projeto de Experimento Estatístico com Simulação**. Uma grande vantagem dessa metodologia é que pode ser aplicada em qualquer modelo de Simulação; seja determinístico, estocástico, em regime transiente ou em permanente (KLEIJNEN, 2001).

Assim, KELTON (2000) recomenda enxergar um modelo de Simulação de um sistema como uma função matemática em que se relacionam certos *inputs* (fatores de entrada) com um *output* (saída ou variável de resposta). Ou mais ainda, às vezes é útil enxergar um modelo de Simulação como um conjunto de funções em que um $output_i$ é uma medida de desempenho do sistema relacionada como os $input_j$ ($\therefore i$ e j variam de 1 até n), conforme funções abaixo:

$$Output_1 = f_1 (Input_1, Input_2, \dots)$$

$$Output_2 = f_2 (Input_1, Input_2, \dots)$$

A razão de se interpretar um modelo de Simulação segundo essa visão, sugerida por KELTON (2000), refere-se ao fato de que num estudo de Simulação sempre se busca entender qual é o grau de influência na variável resposta quando se alteram os fatores que se julgam relevantes. Ou seja, é como o estudo de funções matemáticas em que se buscam máximos e mínimos locais. Se as funções matemáticas fossem conhecidas, com os seus respectivos parâmetros, seria imediato entender qual o grau de influência de um

fator na variável resposta do modelo de Simulação. Entretanto, se essa função fosse, a princípio, conhecida, não haveria razão ou necessidade de se estudar esse sistema via modelo de Simulação. E, nesse caso, o estudo sobre quais fatores seriam mais influenciáveis na variável resposta do sistema seria de conclusões imediatas. Mas, obviamente, essas funções não são conhecidas a princípio.

Contudo, existem diversas maneiras de se estimar o quão a variável resposta de um modelo de Simulação se comporta quando se variam os fatores do modelo que se julgam relevantes. Isso, mesmo se essa(s) suposta(s) função(s) matemática(s) que representam o sistema não seja(m) conhecida(s). Uma dessas técnicas é o **Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação**. No estudo em questão, iremos executar projeto de experimentos do tipo $2^k \times r$ (FREITAS FILHO, 2008).

Apenas por uma questão de didática, apresentaremos os principais conceitos necessários para o entendimento do **Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação** $2^k \times r$, ($\therefore k = 5$ e $r = 3$) utilizado no presente trabalho, com um projeto de experimentos mais simples de se entender ($\therefore k = 3$ e $r = 3$). Para ilustrar os conceitos, mostremos o projeto de experimentos, conforme a Tabela 20:

Tabela 20 – Projeto de Experimento Estatístico com Simulação $2^k \times r$
($\therefore k = 3$ e $r = 3$)

Matriz de Experimento $2^k \times r$ ($k=3$ e $r=3$) $\therefore k$ = número de fatores e r = número de replicações											
Experimento	A	B	C	AC	Y_1	Y_2	Y_3	$Y_{médio}$ (Variável resposta)	E_1	E_2	E_3
1	-1	-1	-1	+1	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	R_1	E_{11}	E_{21}	E_{31}
2	+1	-1	-1	-1	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	R_2	E_{12}	E_{22}	E_{32}
3	-1	+1	-1	+1	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	R_3	E_{13}	E_{23}	E_{33}
4	+1	+1	-1	-1	Y_{14}	Y_{24}	Y_{34}	R_4	E_{14}	E_{24}	E_{34}
5	-1	-1	+1	-1	Y_{15}	Y_{25}	Y_{35}	R_5	E_{15}	E_{25}	E_{35}
6	+1	-1	+1	+1	Y_{16}	Y_{26}	Y_{36}	R_6	E_{16}	E_{26}	E_{36}
7	-1	+1	+1	-1	Y_{17}	Y_{27}	Y_{37}	R_7	E_{17}	E_{27}	E_{37}
8	+1	+1	+1	+1	Y_{18}	Y_{28}	Y_{38}	R_8	E_{18}	E_{28}	E_{38}

Como exemplo, tomemos o estudo da influência do fator A. Por definição, a **influência de um fator na variável resposta de um modelo** é definida como a média da diferença na variável resposta quando esse fator varia do estado inicial (-1) para o estado final (+1), ver expressão (1). Esse resultado, por propriedade, pode ser obtido multiplicando-se a coluna do fator com a coluna da variável resposta, linha por linha, somando-se as parcelas e dividindo o resultado por 2^{k-1} (LAW, 2007), ver expressão (2). Uma segunda maneira de se definir a influência de um fator na variável resposta é multiplicando-se a coluna do fator com a coluna da variável resposta, linha por linha, somando-se as parcelas e dividindo o resultado por 2^k (FREITAS FILHO, 2008), ver expressão (3).

$$e_A = \frac{(R_2 - R_1) + (R_4 - R_3) + (R_6 - R_5) + (R_8 - R_7)}{4} \quad (1)$$

Ou, por propriedade:

$$e_A = \frac{-R_1 + R_2 - R_3 + R_4 - R_5 + R_6 - R_7 + R_8}{4} \quad (2)$$

Ou, pela segunda definição:

$$e_A = \frac{-R_1 + R_2 - R_3 + R_4 - R_5 + R_6 - R_7 + R_8}{8} \quad (3)$$

Outra definição importante é quando a influência de uma variável depende do nível em que está uma outra variável. Nesse caso, dizemos que há uma interação entre essas variáveis. A descoberta dessas interações é de muita relevância em um estudo de Simulação.

Dessa forma, tomando como exemplo o mesmo projeto de experimentos anterior, a medida de interação entre dois fatores A e C, por exemplo, é obtida com a diferença do efeito médio do fator A quando o fator C está no nível “+” (estando todos os outros fatores além do A e do C constantes) pelo efeito médio do fator A quando o fator C está no nível “-“. Por definição, chamamos **efeito de interação entre dois fatores** como sendo a medida de interação anterior dividida por dois (LAW, 2007), ver expressão (4). Esse efeito representaremos por e_{AC} . Além disso, é possível demonstrar que $e_{AC} = e_{CA}$. Uma propriedade imediata decorrente é que os sinais da coluna AC são obtidos com a multiplicação dos sinais da coluna A pela C (LAW, 2007).

Da mesma forma que o cálculo do efeito de um fator principal, existe uma maneira prática de se calcular o efeito de uma interação. Esse efeito pode ser obtido multiplicando-se a coluna da interação com a coluna da variável resposta, linha por linha, somando-se as parcelas e dividindo o resultado por 2^{k-1} (LAW, 2007), ver expressão (5). Uma segunda maneira de se definir o efeito de uma interação entre dois fatores na variável resposta é multiplicando-se a coluna da interação com a coluna da variável resposta, linha por linha, somando-se as parcelas e dividindo o resultado por 2^k (FREITAS FILHO, 2008), ver expressão (6). Como exemplo, o efeito de interação entre o fator A e C seria:

$$e_{AC} = \frac{1}{2} \left[\frac{(R_6 - R_5) + (R_8 - R_7)}{2} - \frac{(R_2 - R_1) + (R_4 - R_3)}{2} \right] \quad (4)$$

Ou, por propriedade:

$$e_{AC} = \frac{R_1 - R_2 + R_3 - R_4 - R_5 + R_6 - R_7 + R_8}{4} \quad (5)$$

Ou, pela segunda definição:

$$e_{AC} = \frac{R_1 - R_2 + R_3 - R_4 - R_5 + R_6 - R_7 + R_8}{8} \quad (6)$$

Por definição, o **grau de explicação da variável resposta por um fator** pode ser obtido pela razão entre o somatório do quadrado do efeito do fator, ao longo de todas as rodadas e respectivas replicações, pela soma total dos quadrados dos efeitos dos fatores, interações e erros (FREITAS FILHO, 2008). Por exemplo, para o cálculo do grau de explicação da variável resposta pelo fator A, ver expressões de (7) à (14).

Assim, definamos que:

$$SQT = SQA + SQB + SQC + SQAC + SQErros \quad (7)$$

$$SQA = N \times r \times e_A^2 \quad (8)$$

$\therefore N =$ número de experimentos (rodadas), $r =$ número de replicações;

$e_A^2 =$ é o quadrado do efeito do fator A.

Analogamente, para os demais fatores e interações:

$$SQB = N \times r \times e^2_B \quad (9)$$

$$SQC = N \times r \times e^2_C \quad (10)$$

$$SQAC = N \times r \times e^2_{AC} \quad (11)$$

$$SQErros = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^3 E_{ij}^2 \quad (12)$$

$$SQT = N \times r \times e^2_A + N \times r \times e^2_B + N \times r \times e^2_C + N \times r \times e^2_{AC} + \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^3 E_{ij}^2 \quad (13)$$

Então, por definição temos:

$$\text{Grau de explicação da variável resposta pelo fator A} = SQA/SQT; \quad (14)$$

$$\text{Grau de explicação da variável resposta pelo fator B} = SQB/SQT; \quad (15)$$

$$\text{Grau de explicação da variável resposta pelo fator C} = SQC/SQT; \quad (16)$$

Grau de explicação da variável resposta pela interação do fator

$$\text{A com C} = SQAC/SQT \quad (17)$$

$$\text{Grau de explicação da variável resposta pelos erros experimentais} = SQErros/SQT \quad (18)$$

Baseado na apresentação dos conceitos acima, segue uma breve memória de cálculo para o **Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação** $2^k \times r$, ($\because k = 5$ e $r = 3$) utilizado nesse trabalho para fatores internos. Serão apresentados os cálculos somente para o projeto de experimentos para fatores internos, já que a metodologia de

cálculo é análoga para o **Projeto de Experimentos Estatístico com Simulação** para fatores externos.

No caso, o $Y_{\text{médio}}$ é a variável resposta para uma rodada, correspondendo a média de 3 replicações para cada rodada. Utilizaremos os conceito de FREITAS FILHO (2008), tanto para o efeito de um fator, quanto para o efeito de uma interação entre dois fatores na variável resposta, conforme visto anteriormente. Assim, o efeito de cada fator (ou interação) será obtido com o produto de sua coluna de sinais com a coluna do $Y_{\text{médio}}$ e esse resultado será dividido por 2^k (no caso, $k = 5$ então, $2^5=32$), a segunda definição.

Efeito do fator A = $-26,1467/32 = -0,8171$ (última linha na coluna A)

$$SQA = N \times r \times e^2_A = 32 \times 3 \times (-0,8171)^2 = 64,0920167$$

$$SQT = 148095,268$$

Grau de explicação da variável resposta ($Y_{\text{médio}}$) pelo fator A = $SQA/SQT = 0,04\%$

Efeito do fator B = $-302,2800/32 = -9,4462$ (última linha na coluna B)

$$SQB = N \times r \times e^2_B = 32 \times 3 \times (-9,4462)^2 = 8566,23735$$

$$SQT = 148095,268$$

Grau de explicação da variável resposta ($Y_{\text{médio}}$) pelo fator B = $SQB/SQT = 5,78\%$

Efeito do fator C = $-666,2800/32 = -20,8213$ (última linha na coluna C)

$$SQC = N \times r \times e^2_C = 32 \times 3 \times (-20,8213)^2 = 41618,34735$$

$$SQT = 148095,268$$

Grau de explicação da variável resposta ($Y_{\text{médio}}$) pelo fator C = $SQC/SQT = 28,10\%$

Efeito do fator D = $-431,4400/32 = -13,4825$ (última linha na coluna D)

$$SQD = N \times r \times e^2_D = 32 \times 3 \times (-13,4626)^2 = 17450,6694$$

$$SQT = 148095,268$$

Grau de explicação da variável resposta ($Y_{\text{médio}}$) pelo fator D = $SQD/SQT = 11,78\%$

Efeito da interação AC = $-18,24/32 = -0,5700$ (última linha na coluna AC)

$$SQAC = N \times r \times e^2_{AC} = 32 \times 3 \times (-0,5700)^2 = 15,5952$$

$$SQT = 148095,268$$

Grau de explicação da variável resposta ($Y_{\text{médio}}$) pela interação AC = $SQAC/SQT = 0,01\%$

A.3 Estatísticas e gráfico de probabilidade para as rodadas

A.3.1 Rodada 2 – Modelo determinístico total

Esse cenário, ou rodada, foi construído atribuindo-se como tempo para as atividades do projeto os valores de suas respectivas modas, conforme tabela 3. Além disso, os processos de decisões foram configurados para aprovação em 100% dos casos. Como exemplo, ao checar na etapa de decisão sobre OK do relatório de Geotecnia na revisão 0, o sistema foi configurado para aprovação em 100% dos casos. Ou seja, nenhuma aleatoriedade é considerada nesse modelo. A Tabela 21 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 21 – Especificado pelo usuário para a rodada 2

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	103.07	< 0,00	103.07	103.07	103.07	103.07
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	48.0110	< 0,00	48.0110	48.0110	48.0110	48.0110
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	151.08	< 0,00	151.08	151.08	151.08	151.08
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	158.98	< 0,00	158.98	158.98	158.98	158.98
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	134.00	< 0,00	134.00	134.00	134.00	134.00
Tempo do Trecho Final de Geofisica	110.07	< 0,00	110.07	110.07	110.07	110.07
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	285.08	0,00	285.08	285.08		

O Gráfico 18 abaixo mostra as classes de freqüências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 2. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de freqüência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a freqüência absoluta e a freqüência relativa para cada classe de freqüência.

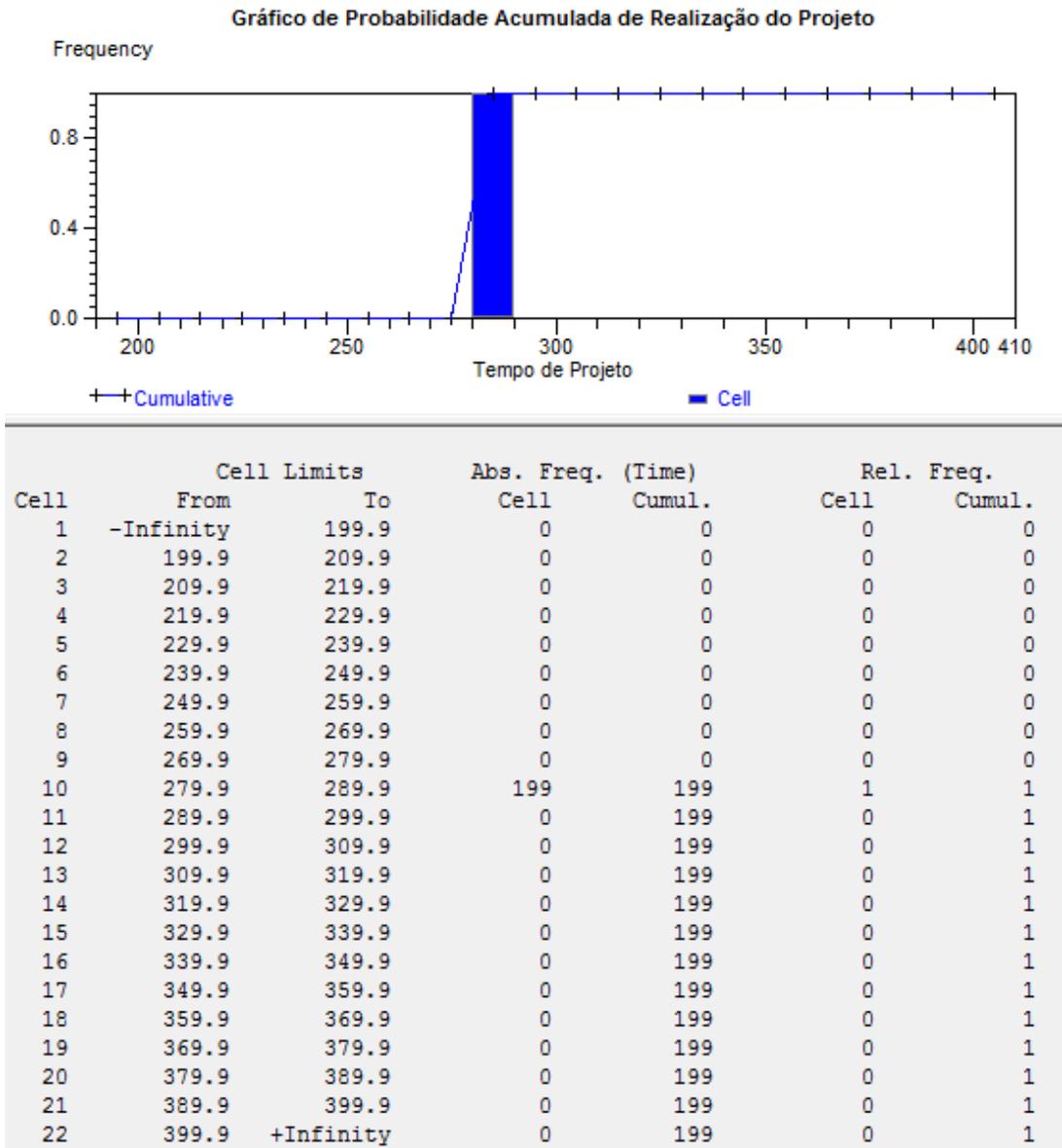


Gráfico 18 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para rodada 2

A.3.2 Rodada 3 – Modelo determinístico no tempo

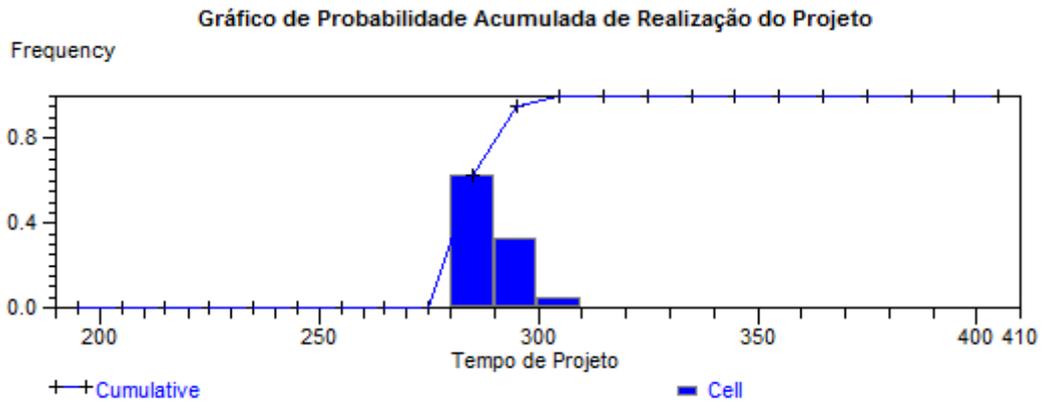
Esse cenário foi construído atribuindo-se como tempo para as atividades do projeto os valores de suas respectivas modas, conforme tabela 3. Além disso, os processos de decisões foram configurados para ocorrerem conforme a referida tabela e aleatoriedades consideradas no item coleta de dados. Deve-se notar que o tempo médio de projeto obtido foi de 289,65 dias, muito próximo ao valor de 289,5 dias previsto na ferramenta PERT/CPM utilizada no planejamento do projeto, internamente na Oil& Gás Enterprise. A Tabela 22 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 22 – Especificado pelo usuário para a rodada 3

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	103.07	< 0,00	103.07	103.07	103.07	103.07
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	48.0110	< 0,00	48.0110	48.0110	48.0110	48.0110
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	151.08	< 0,00	151.08	151.08	151.08	151.08
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	163.11	< 0,84	158.98	180.98	158.98	180.98
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	138.57	< 0,89	134.00	156.00	134.00	156.00
Tempo do Trecho Final de Geofisica	110.07	< 0,00	110.07	110.07	110.07	110.07
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	289.65	0,89	285.08	307.08		

O Gráfico 19 abaixo mostra as classes de freqüências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 3. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de freqüência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a freqüência absoluta e a freqüência relativa para cada classe de freqüência.



Cell	Cell Limits		Abs. Freq. (Time)		Rel. Freq.	
	From	To	Cell	Cumul.	Cell	Cumul.
1	-Infinity	199.9	0	0	0	0
2	199.9	209.9	0	0	0	0
3	209.9	219.9	0	0	0	0
4	219.9	229.9	0	0	0	0
5	229.9	239.9	0	0	0	0
6	239.9	249.9	0	0	0	0
7	249.9	259.9	0	0	0	0
8	259.9	269.9	0	0	0	0
9	269.9	279.9	0	0	0	0
10	279.9	289.9	125	125	0.6281	0.6281
11	289.9	299.9	65	190	0.3266	0.9548
12	299.9	309.9	9	199	0.04523	1
13	309.9	319.9	0	199	0	1
14	319.9	329.9	0	199	0	1
15	329.9	339.9	0	199	0	1
16	339.9	349.9	0	199	0	1
17	349.9	359.9	0	199	0	1
18	359.9	369.9	0	199	0	1
19	369.9	379.9	0	199	0	1
20	379.9	389.9	0	199	0	1
21	389.9	399.9	0	199	0	1
22	399.9	+Infinity	0	199	0	1

Gráfico 19 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para rodada 3

A.3.3 Rodada 4 – Modelo começando o trecho de águas profundas 14 dias antes de águas rasas

Esse item representa os resultados obtidos da Simulação para o modelo estocástico considerando o início de águas profundas 14 dias antes do início de águas rasas. Essa é a única alteração realizada em relação ao modelo estocástico atual, rodada 1 (que considera o início de águas profundas 60 dias antes de águas rasas). Com relação ao modelo estocástico atual, houve uma redução no tempo médio previsto para a realização do projeto de 32,37 dias (311,00 – 278,63). A Tabela 23 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 23 – Especificado pelo usuário para a rodada 4

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofísica Rasa e Profunda	40.8461	< 1,09	25.7562	59.5243	25.7562	59.5243
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofísica de Aguas Profundas	65.9203	< 1,11	48.1337	80.7875	48.1337	80.7875
Tempo de Geofísica de Aguas Rasas	106.77	< 0,35	100.86	112.22	100.86	112.22
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	172.21	< 2,91	129.17	233.05	129.17	233.05
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	164.95	< 4,65	89.7036	236.12	89.7036	236.12
Tempo do Trecho Final de Geofísica	49.5193	< 1,12	34.8237	71.7552	34.8237	71.7552
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	278.63	3,63	218.57	342.83		

O Gráfico 20 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 4. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

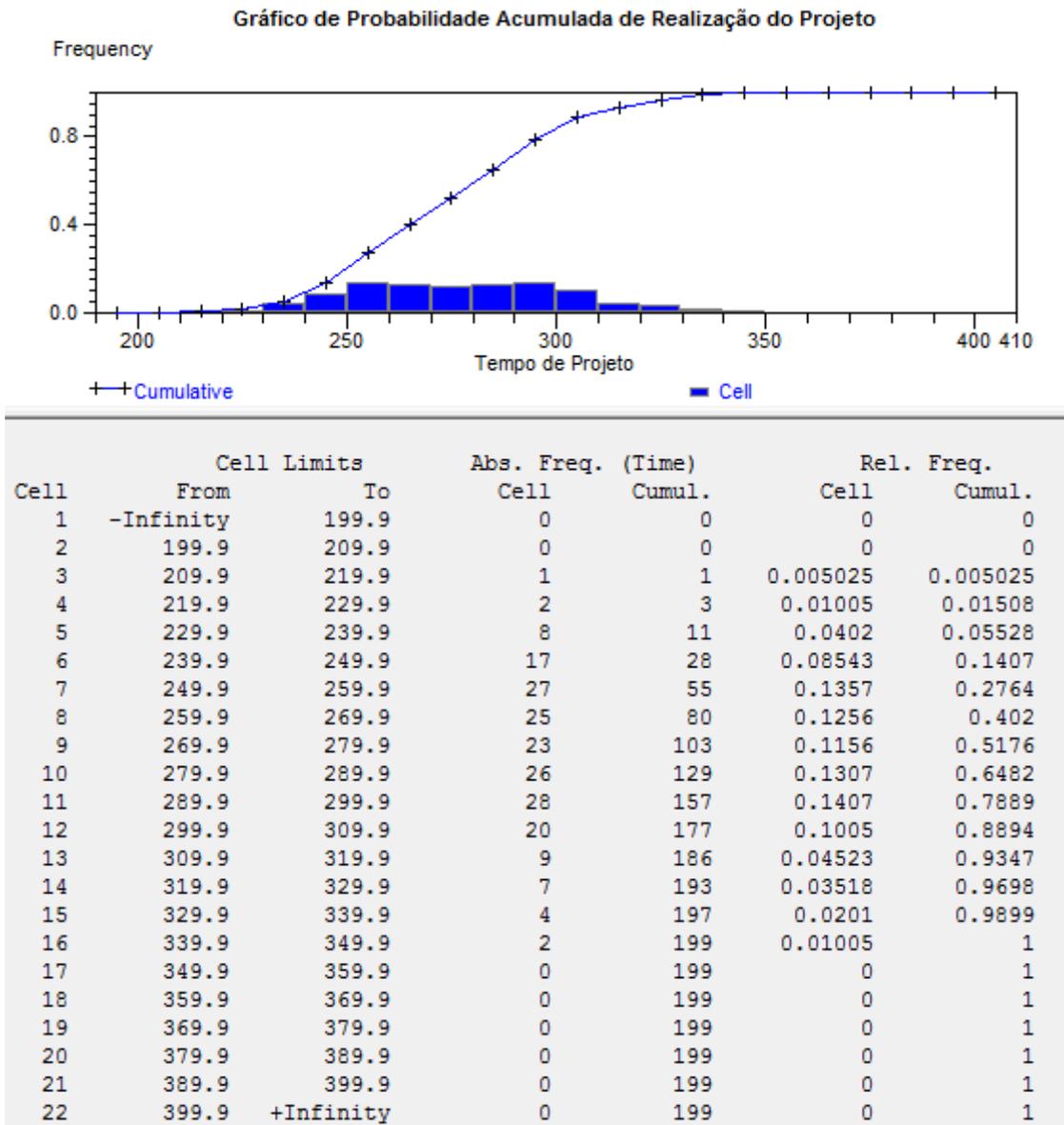


Gráfico 20 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 4

A.3.4 Rodada 5 – Modelo começando o trecho de águas profundas 7 dias antes de águas rasas

Esse item representa os resultados obtidos da Simulação para o modelo estocástico considerando o início de águas profundas 7 dias antes do início de águas rasas. Essa é a única alteração realizada em relação ao modelo estocástico atual, rodada 1 (que considera o início de águas profundas 60 dias antes de águas rasas). Com relação ao modelo estocástico atual, houve uma redução no tempo médio previsto para a realização do projeto de 36,95 dias (311,00 – 274,05). A Tabela 24 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 24 – Especificado pelo usuário para a rodada 5

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferenca de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	32.8597	< 0,53	25.4448	44.1826	25.4448	44.1826
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	67.9708	< 0,63	57.5202	80.7521	57.5202	80.7521
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	100.83	< 0,34	94.1563	108.72	94.1563	108.72
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	171.84	< 2,83	129.80	243.61	129.80	243.61
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	164.45	< 4,85	81.6456	235.01	81.6456	235.01
Tempo do Trecho Final de Geofisica	41.5605	< 0,61	33.1078	53.0445	33.1078	53.0445
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	274.05	3,57	220.18	334.32		

O Gráfico 21 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 5. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

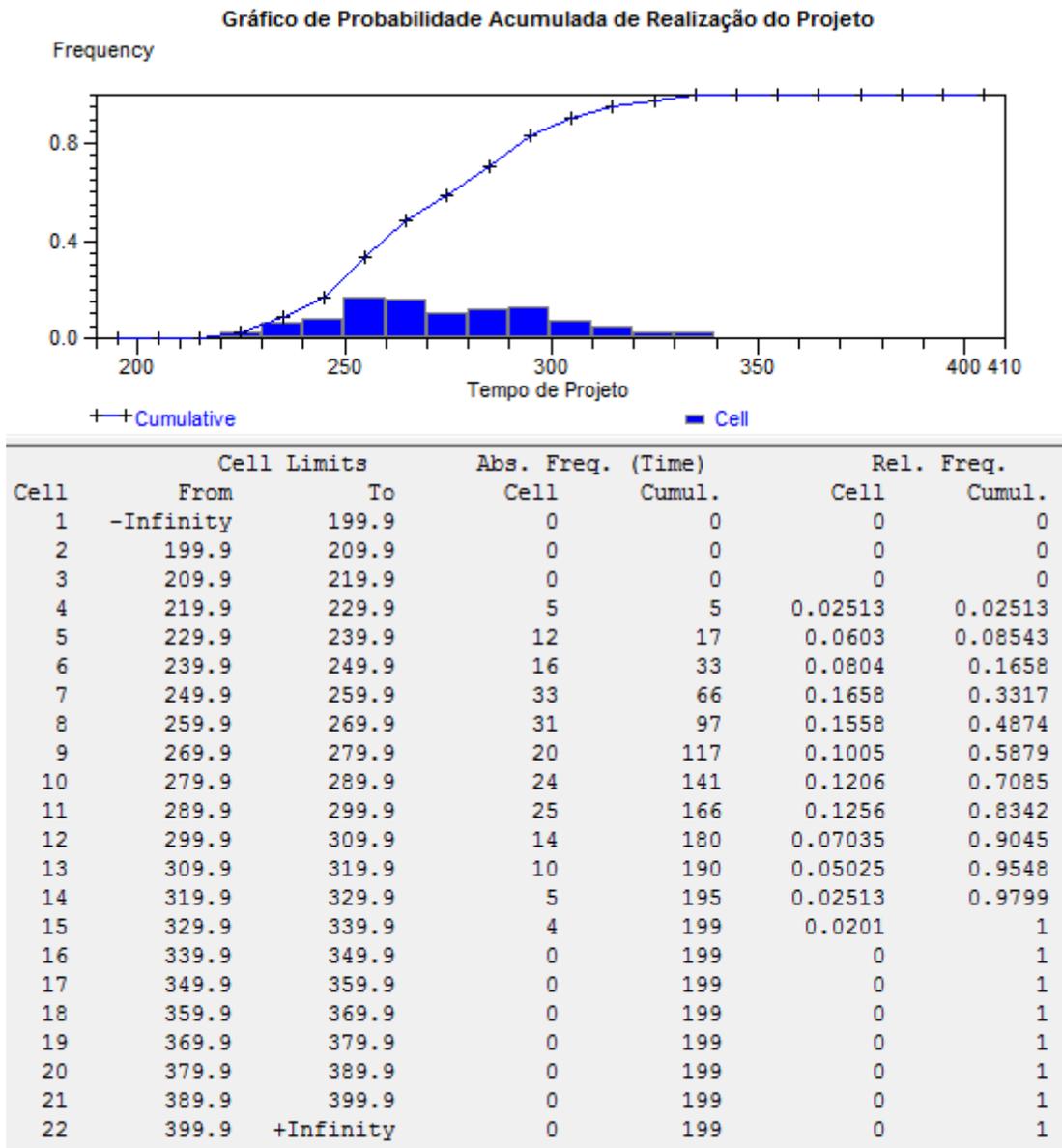


Gráfico 21 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 5

A.3.5 Rodada 6 – Modelo começando o trecho de águas rasas junto com águas profundas

Esse item representa os resultados obtidos da Simulação para o modelo estocástico considerando um início conjunto do trecho de águas profundas e de águas rasas. Essa é a única alteração realizada em relação ao modelo estocástico atual, rodada 1 (que considera o início de águas profundas 60 dias antes de águas rasas). Com relação ao modelo estocástico atual, houve uma redução no tempo médio previsto para a realização do projeto de 39,51 dias (311,00 - 271,49). A Tabela 25 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 25 – Especificado pelo usuário para a rodada 6

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofísica Rasa e Profunda	28.7276	< 0,57	6.8326	38.2248	6.8326	38.2248
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofísica de Aguas Profundas	67.6094	< 0,66	55.8851	80.6834	55.8851	80.6834
Tempo de Geofísica de Aguas Rasas	96.3371	< 0,43	87.5160	101.97	87.5160	101.97
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	172.73	< 2,80	129.87	243.47	129.87	243.47
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	165.21	< 4,85	81.6456	235.01	81.6456	235.01
Tempo do Trecho Final de Geofísica	37.4042	< 0,64	12.4596	47.8236	12.4596	47.8236
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	271.49	3,53	219.77	333.91		

O Gráfico 22 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 6. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

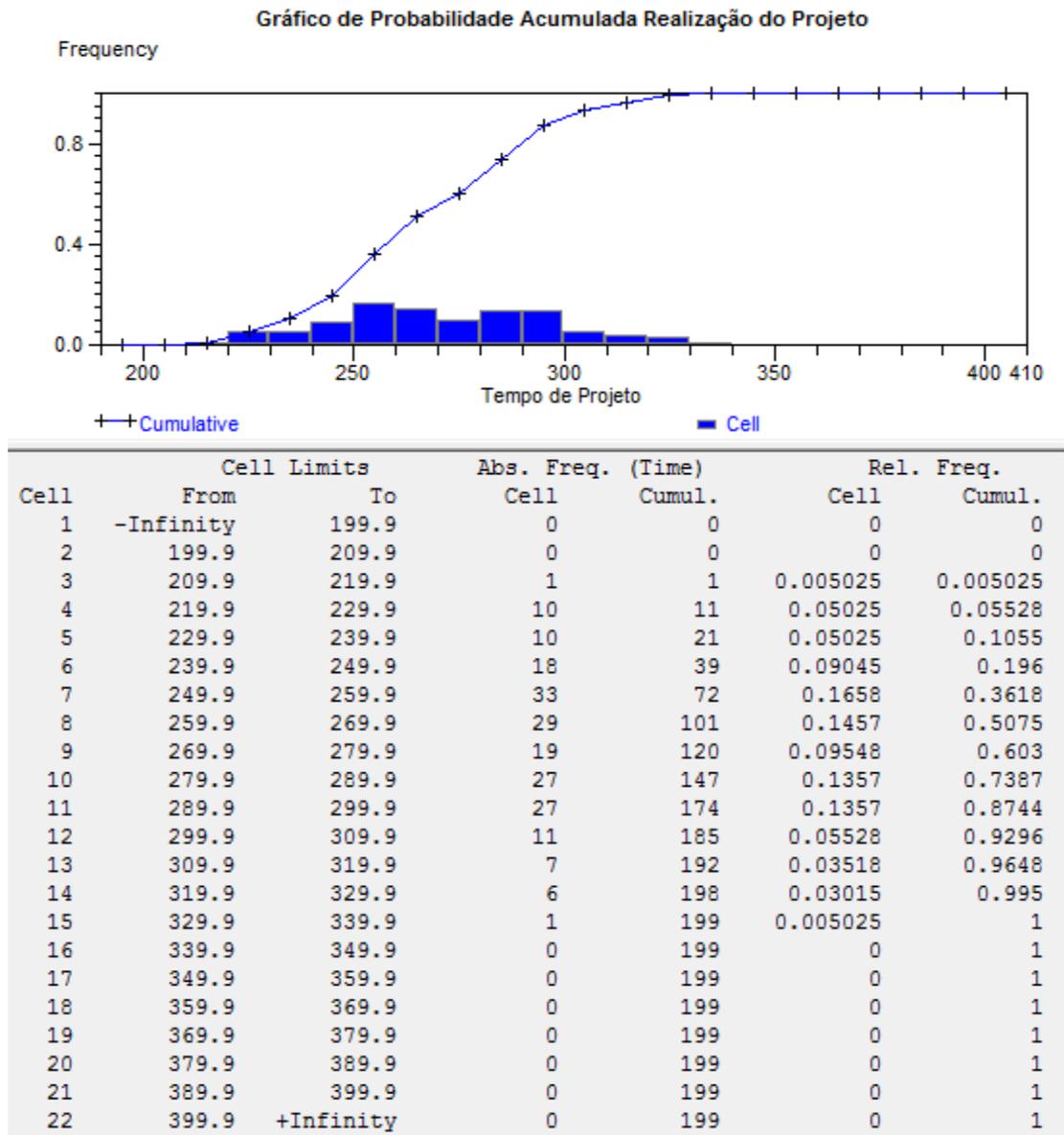


Gráfico 22 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 6

A.3.6 Rodada 7 – Modelo começando o trecho de águas rasas 7 dias antes de águas profundas

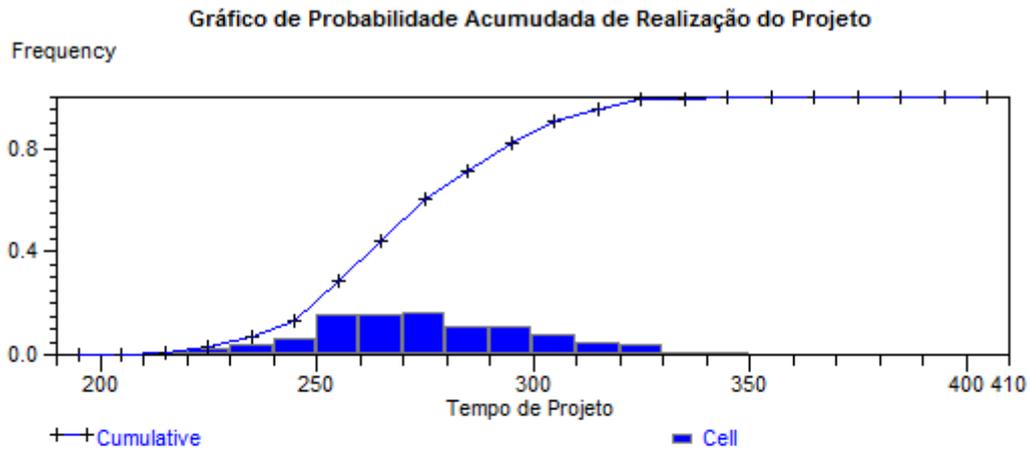
Esse item representa os resultados obtidos da Simulação para o modelo estocástico considerando o início de águas rasas 7 dias antes do início de águas profundas. Essa é a única alteração realizada em relação ao modelo estocástico atual, rodada 1 (que considera o início de águas profundas 60 dias antes de águas rasas). Com relação ao modelo estocástico atual, houve uma redução no tempo médio previsto para a realização do projeto de 36, 44 dias (311,00 – 274,56). A Tabela 26 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 26 – Especificado pelo usuário para a rodada 7

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofísica Rasa e Profunda	24.1613	< 1,06	2.1742	39.0676	2.1742	39.0676
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofísica de Aguas Profundas	73.4880	< 0,82	55.7633	90.8880	55.7633	90.8880
Tempo de Geofísica de Aguas Rasas	97.6493	< 0,54	86.0841	107.41	86.0841	107.41
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	172.31	< 3,02	124.91	218.39	124.91	218.39
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	163.62	< 5,08	81.3673	244.11	81.3673	244.11
Tempo do Trecho Final de Geofísica	32.8148	< 1,08	8.6135	50.5609	8.6135	50.5609
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	274.56	3,46	215.65	339.96		

O Gráfico 23 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 7. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.



Cell	Cell Limits		Abs. Freq. (Time)		Rel. Freq.	
	From	To	Cell	Cumul.	Cell	Cumul.
1	-Infinity	199.9	0	0	0	0
2	199.9	209.9	0	0	0	0
3	209.9	219.9	1	1	0.005025	0.005025
4	219.9	229.9	5	6	0.02513	0.03015
5	229.9	239.9	8	14	0.0402	0.07035
6	239.9	249.9	12	26	0.0603	0.1307
7	249.9	259.9	31	57	0.1558	0.2864
8	259.9	269.9	31	88	0.1558	0.4422
9	269.9	279.9	33	121	0.1658	0.608
10	279.9	289.9	21	142	0.1055	0.7136
11	289.9	299.9	22	164	0.1106	0.8241
12	299.9	309.9	16	180	0.0804	0.9045
13	309.9	319.9	10	190	0.05025	0.9548
14	319.9	329.9	7	197	0.03518	0.9899
15	329.9	339.9	1	198	0.005025	0.995
16	339.9	349.9	1	199	0.005025	1
17	349.9	359.9	0	199	0	1
18	359.9	369.9	0	199	0	1
19	369.9	379.9	0	199	0	1
20	379.9	389.9	0	199	0	1
21	389.9	399.9	0	199	0	1
22	399.9	+Infinity	0	199	0	1

Gráfico 23 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 7

A.3.7 Rodada 8 – Modelo começando o trecho de águas rasas 14 dias antes de águas profundas

Esse item representa os resultados obtidos da Simulação para o modelo estocástico considerando o início de águas rasas 14 dias antes do início de águas profundas. Essa é a única alteração realizada em relação ao modelo estocástico atual, rodada 1 (que considera o início de águas profundas 60 dias antes de águas rasas). Com relação ao modelo estocástico atual, houve uma redução no tempo médio previsto para a realização do projeto de 32,36 dias (311,00 – 278,64). A Tabela 27 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 27 – Especificado pelo usuário para a rodada 8

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofísica Rasa e Profunda	12.7263	< 1,38	0.0942	30.3603	0.0942	30.3603
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofísica de Aguas Profundas	83.2757	< 1,14	68.0438	101.20	68.0438	101.20
Tempo de Geofísica de Aguas Rasas	96.0020	< 0,69	86.8934	109.76	86.8934	109.76
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	174.38	< 2,92	129.39	219.88	129.39	219.88
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	164.76	< 5,00	86.1374	242.96	86.1374	242.96
Tempo do Trecho Final de Geofísica	21.5043	< 1,40	7.1400	41.8537	7.1400	41.8537
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	278.64	3,29	219.95	341.01		

O Gráfico 24 abaixo mostra as classes de freqüências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 8. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de freqüência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a freqüência absoluta e a freqüência relativa para cada classe de freqüência.

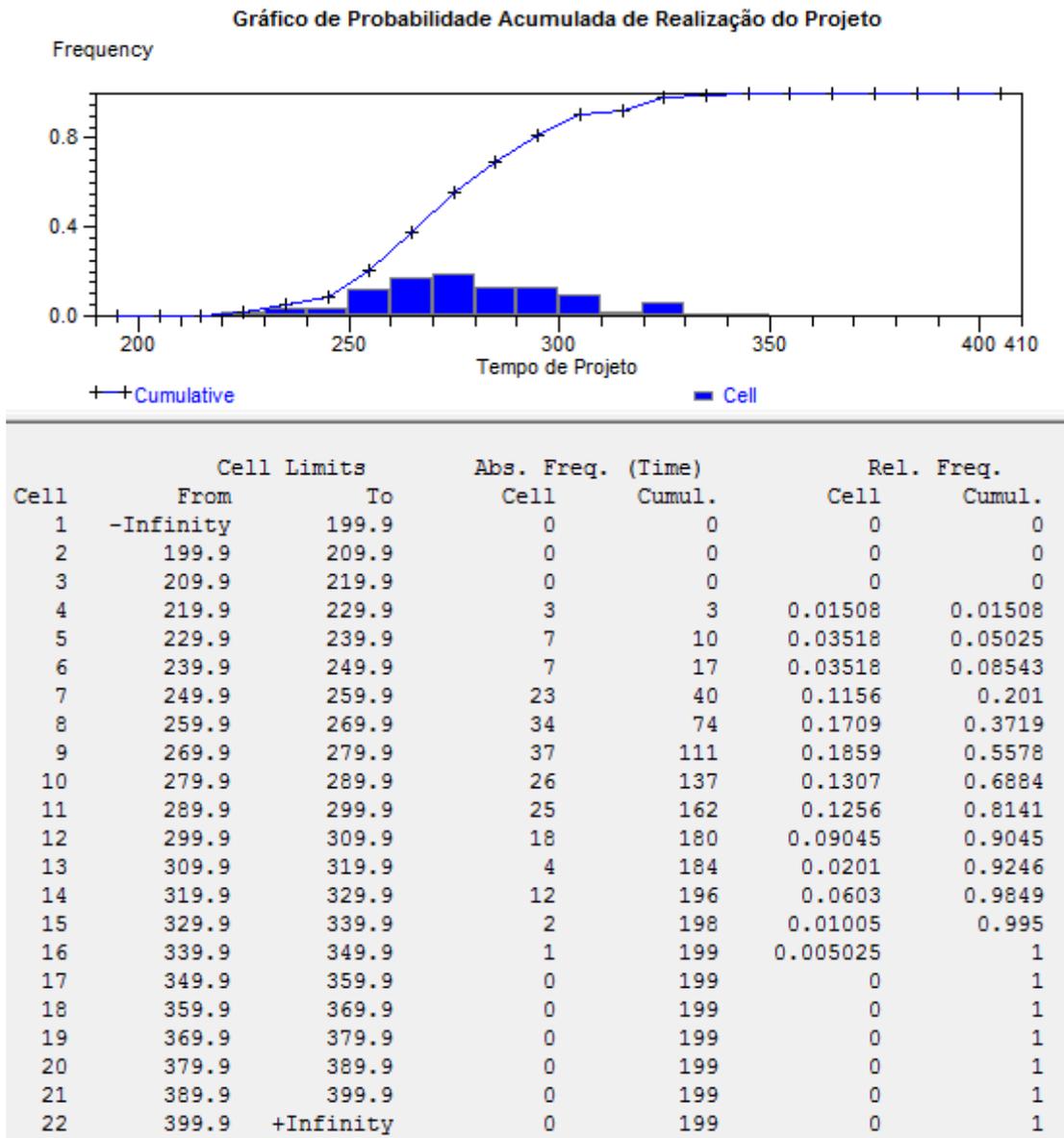


Gráfico 24 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 8

A.3.8 Rodada 9 – Modelo começando o trecho de águas rasas 20 Dias antes de águas profundas

Esse item representa os resultados obtidos da Simulação para o modelo estocástico considerando o início de águas rasas 20 dias antes do início de águas profundas. Essa é a única alteração realizada em relação ao modelo estocástico atual, rodada 1 (que considera o início de águas profundas 60 dias antes de águas rasas). Com relação ao modelo estocástico atual, houve uma redução no tempo médio previsto para a realização do projeto de 26,2 dias (311,00 – 284,80). A Tabela 28 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 28 – Especificado pelo usuário para a rodada 9

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	5.9844	< 0,86	0.0942	24.7452	0.0942	24.7452
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	92.6455	< 1,17	72.8895	106.04	72.8895	106.04
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	98.6231	< 0,56	89.9292	111.06	89.9292	111.06
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	173.76	< 2,50	133.54	222.22	133.54	222.22
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	167.69	< 5,01	89.3134	245.41	89.3134	245.41
Tempo do Trecho Final de Geofisica	14.7337	< 0,88	6.0063	35.2021	6.0063	35.2021
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	284.80	3,09	237.45	341.77		

O Gráfico 25 abaixo mostra as classes de freqüências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 9. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de freqüência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a freqüência absoluta e a freqüência relativa para cada classe de freqüência.

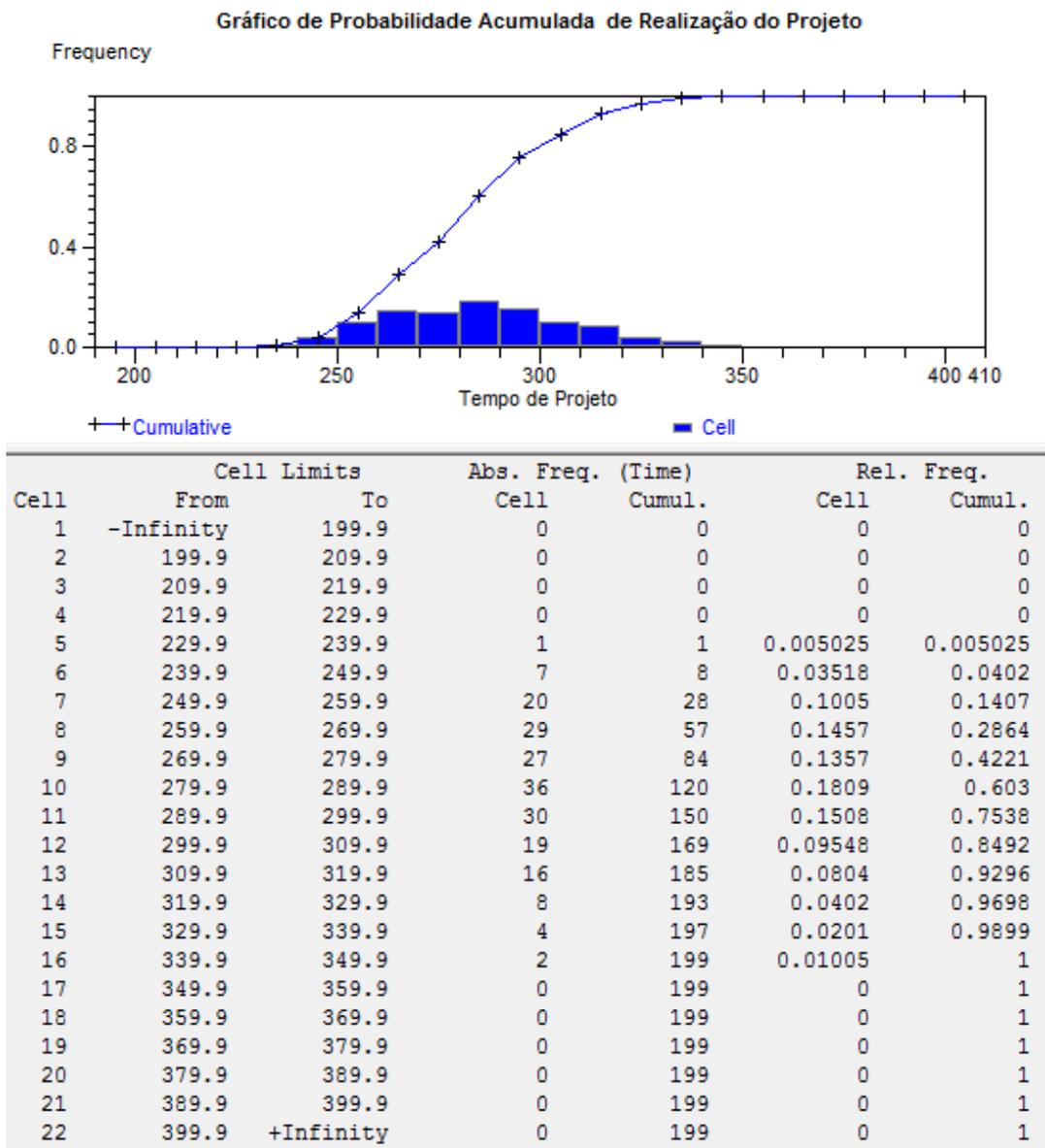


Gráfico 25 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 9

A.3.9 Rodada 10 – Modelo começando o trecho de águas rasas 60 dias antes de águas profundas

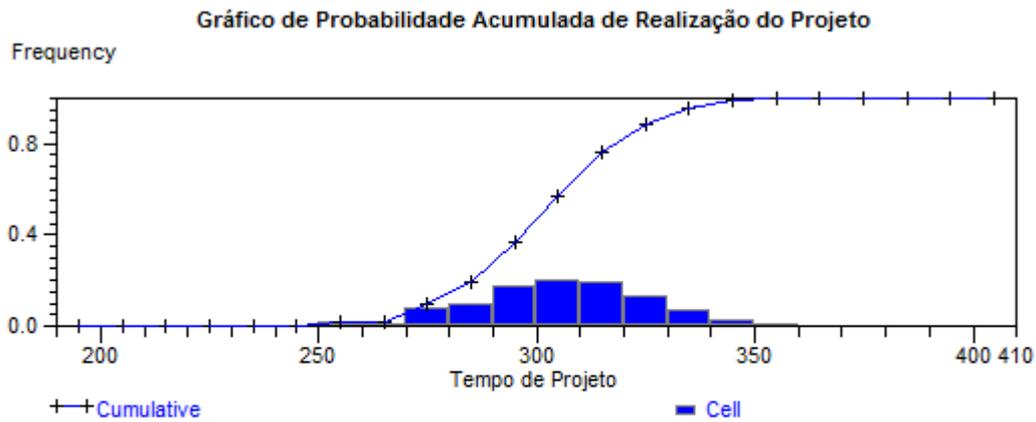
Esse item representa os resultados obtidos da Simulação para o modelo estocástico considerando o início de águas rasas 60 dias antes do início de águas profundas. Essa é a única alteração realizada em relação ao modelo estocástico atual, rodada 1 (que considera o início de águas profundas 60 dias antes de águas rasas). Com relação ao modelo estocástico atual, houve uma redução no tempo médio previsto para a realização do projeto de 4,92 dias (311,00 – 306,08). A Tabela 29 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 29 – Especificado pelo usuário para a rodada 10

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofísica Rasa e Profunda	22.2788	< 0,42	14.5799	33.7324	14.5799	33.7324
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofísica de Aguas Profundas	125.21	< 0,50	114.78	131.97	114.78	131.97
Tempo de Geofísica de Aguas Rasas	102.93	< 0,34	95.1350	108.65	95.1350	108.65
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	175.97	< 2,88	128.26	221.60	128.26	221.60
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	158.23	< 4,72	88.6394	247.98	88.6394	247.98
Tempo do Trecho Final de Geofísica	30.9024	< 0,51	22.3341	42.2875	22.3341	42.2875
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	306.08	2,70	255.13	352.02		

O Gráfico 26 abaixo mostra as classes de freqüências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 10. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de freqüência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a freqüência absoluta e a freqüência relativa para cada classe de freqüência.



Cell	Cell Limits		Abs. Freq. (Time)		Rel. Freq.	
	From	To	Cell	Cumul.	Cell	Cumul.
1	-Infinity	199.9	0	0	0	0
2	199.9	209.9	0	0	0	0
3	209.9	219.9	0	0	0	0
4	219.9	229.9	0	0	0	0
5	229.9	239.9	0	0	0	0
6	239.9	249.9	0	0	0	0
7	249.9	259.9	3	3	0.01508	0.01508
8	259.9	269.9	1	4	0.005025	0.0201
9	269.9	279.9	15	19	0.07538	0.09548
10	279.9	289.9	19	38	0.09548	0.191
11	289.9	299.9	35	73	0.1759	0.3668
12	299.9	309.9	40	113	0.201	0.5678
13	309.9	319.9	38	151	0.191	0.7588
14	319.9	329.9	26	177	0.1307	0.8894
15	329.9	339.9	14	191	0.07035	0.9598
16	339.9	349.9	6	197	0.03015	0.9899
17	349.9	359.9	2	199	0.01005	1
18	359.9	369.9	0	199	0	1
19	369.9	379.9	0	199	0	1
20	379.9	389.9	0	199	0	1
21	389.9	399.9	0	199	0	1
22	399.9	+Infinity	0	199	0	1

Gráfico 26 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 10

A.3.10 Rodada 11 – Modelo com 1,5 EGF

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas e aumenta-se o número de EGFs envolvidos no projeto de 1 para 1,5 (um EGF com dedicação integral e outro com dedicação de 50% do seu tempo ao projeto). Podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 6 de 11,92 dias para o tempo de projeto (271,49 – 259,57). A Tabela 30 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 30 – Especificado pelo usuário para a rodada 11

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	28.7276	< 0,57	6.8326	38.2248	6.8326	38.2248
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	67.6094	< 0,66	55.8851	80.6834	55.8851	80.6834
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	96.3371	< 0,43	87.5160	101.97	87.5160	101.97
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	162.62	< 2,58	122.76	226.69	122.76	226.69
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	154.84	< 4,81	74.8533	224.89	74.8533	224.89
Tempo do Trecho Final de Geofisica	37.4042	< 0,64	12.4596	47.8236	12.4596	47.8236
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	259.57	3,68	205.96	323.79		

O Gráfico 27 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 11. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

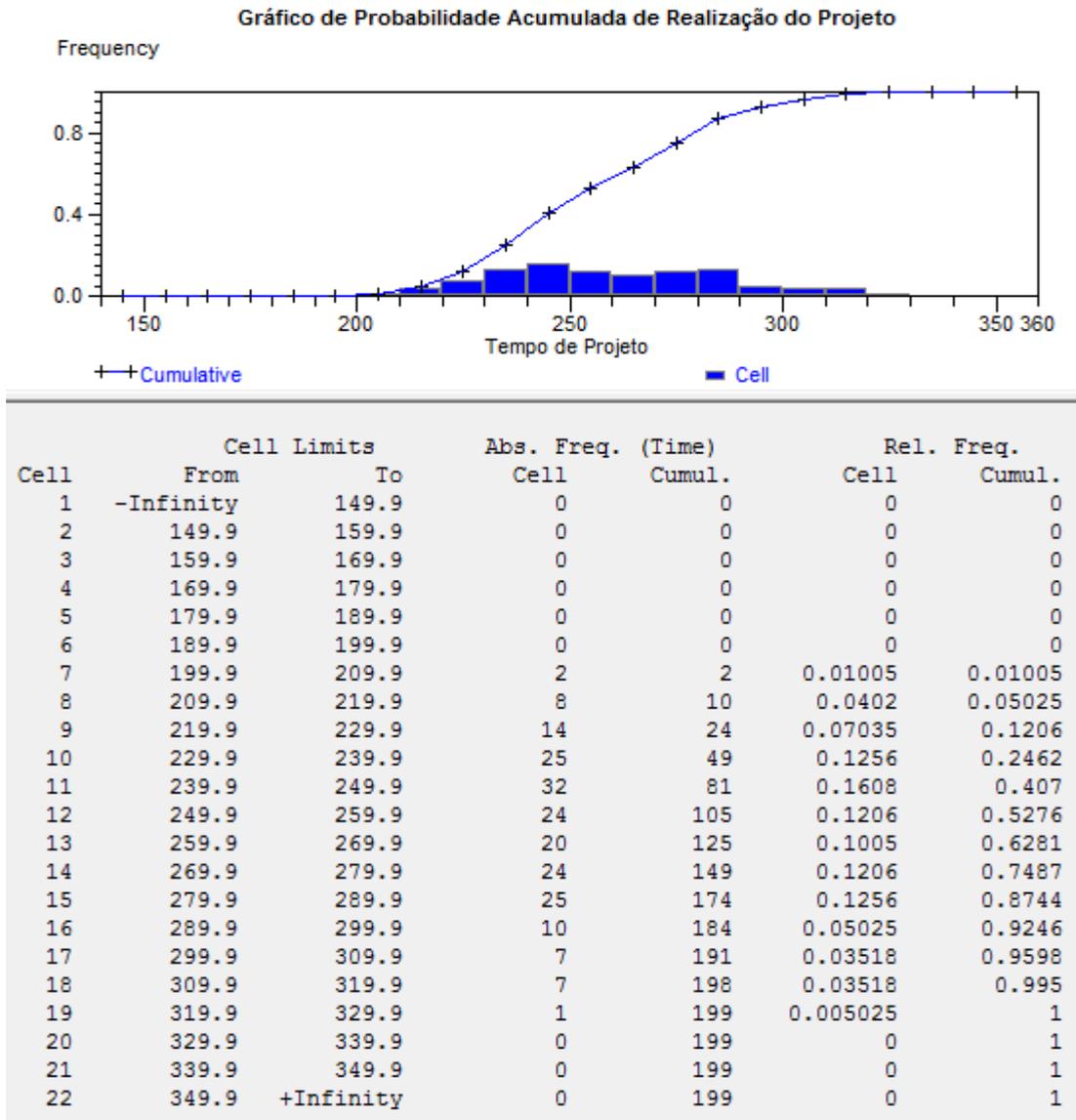


Gráfico 27 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 11

A.3.11 Rodada 12 – Modelo com 2 EGF

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas e aumenta-se o número de EGFs envolvidos no projeto de 1 para 2. Podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 6 de 17,35 dias para o tempo de projeto (271,49 – 254,14). A Tabela 31 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 31 – Especificado pelo usuário para a rodada 12

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofísica Rasa e Profunda	28.7276	< 0,57	6.8326	38.2248	6.8326	38.2248
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofísica de Aguas Profundas	67.6094	< 0,66	55.8851	80.6834	55.8851	80.6834
Tempo de Geofísica de Aguas Rasas	96.3371	< 0,43	87.5160	101.97	87.5160	101.97
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	157.82	< 2,51	119.07	218.30	119.07	218.30
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	149.92	< 4,80	71.4571	219.83	71.4571	219.83
Tempo do Trecho Final de Geofísica	37.4042	< 0,64	12.4596	47.8236	12.4596	47.8236
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	254.14	3,74	197.70	318.73		

O Gráfico 28 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 12. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

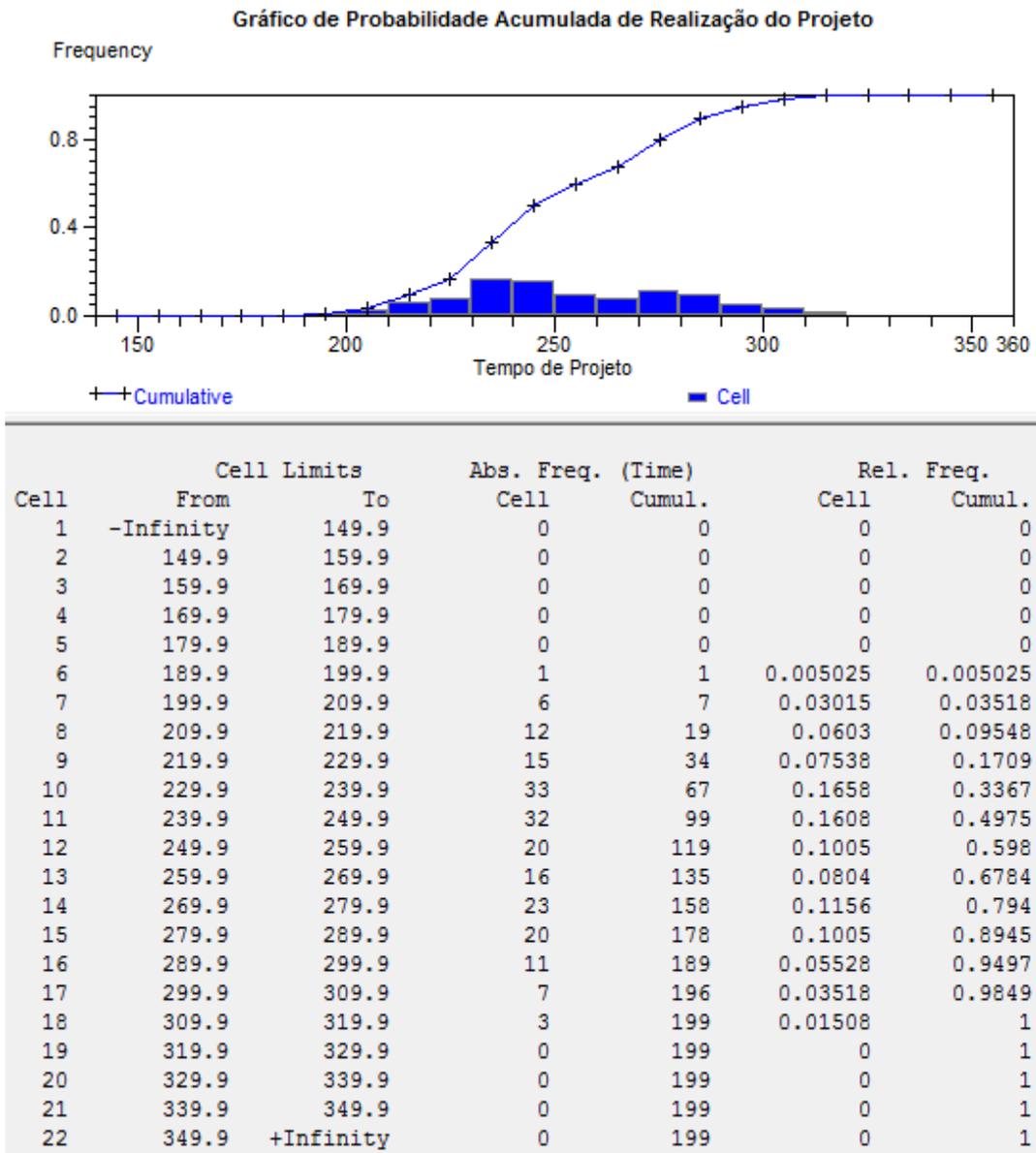


Gráfico 28 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 12

A.3.12 Rodada 13 – Modelo com 3 EGF

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas e aumenta-se o número de EGFs envolvidos no projeto de 1 para 3. Podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 6 de 22,54 dias para o tempo de projeto (271,49 – 248,95). A Tabela 32 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 32 – Especificado pelo usuário para a rodada 13

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	28.7276	< 0,57	6.8326	38.2248	6.8326	38.2248
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	67.6094	< 0,66	55.8851	80.6834	55.8851	80.6834
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	96.3371	< 0,43	87.5160	101.97	87.5160	101.97
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	153.01	< 2,46	115.38	209.91	115.38	209.91
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	145.24	< 4,81	68.0610	214.78	68.0610	214.78
Tempo do Trecho Final de Geofisica	37.4042	< 0,64	12.4596	47.8236	12.4596	47.8236
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	248.95	3,82	191.56	313.67		

O Gráfico 29 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 13. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

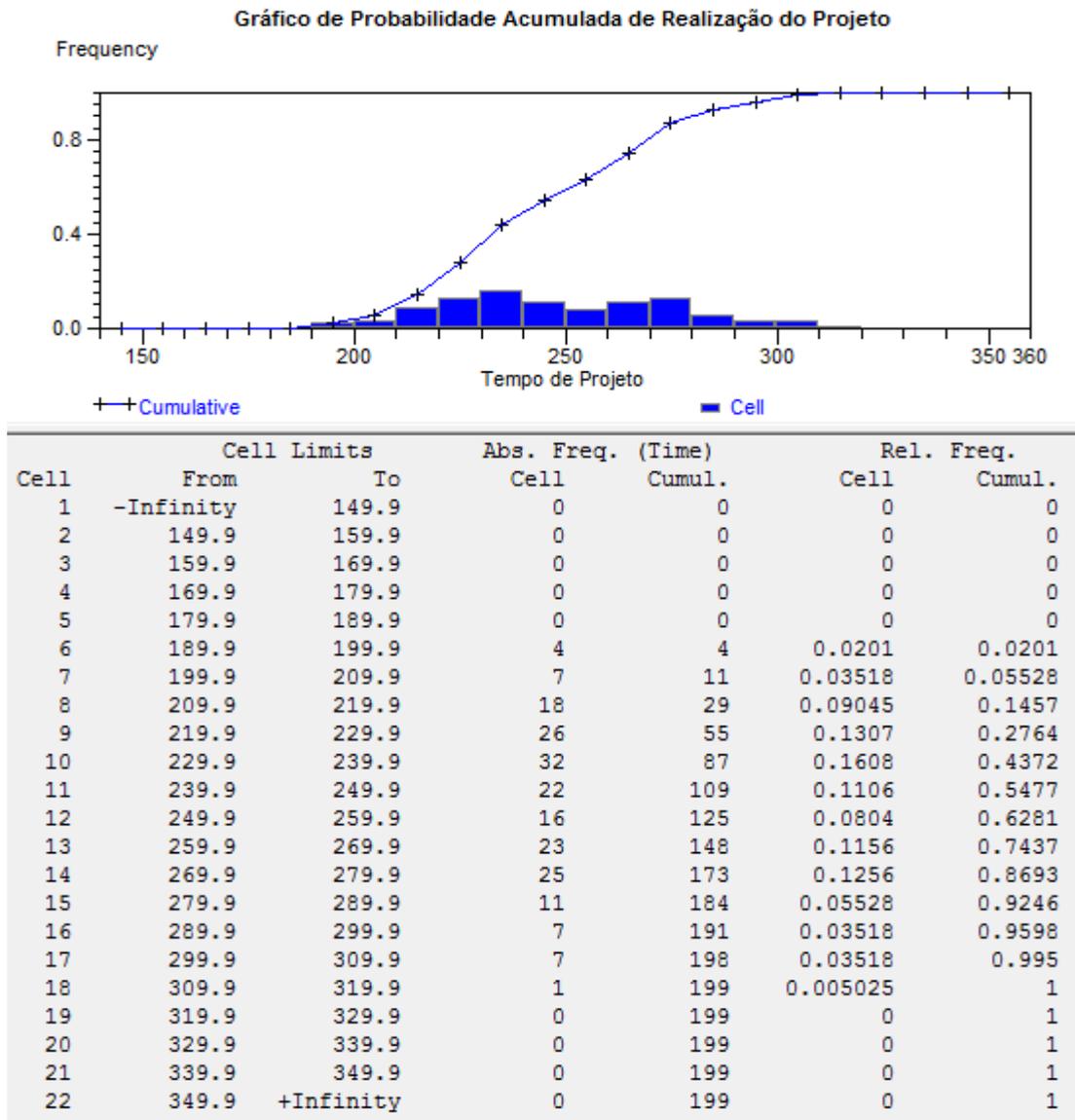


Gráfico 29 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 13

A.3.13 Rodada 14 – Modelo com 1,5 EGF e 1,5 GE

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas. Além disso, aumenta-se o número de EGF envolvidos no projeto de 1 para 1,5 e aumenta-se o número de GE de 1 para 1,5 GE . Podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 6 de 22,03 dias para o tempo de projeto (271,49 – 249,46). A Tabela 33 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 33 – Especificado pelo usuário para a rodada 14

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	35.4116	< 0,93	19.2279	49.1624	19.2279	49.1624
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	53.0864	< 0,88	40.7252	71.0676	40.7252	71.0676
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	88.4980	< 0,41	82.4836	94.7622	82.4836	94.7622
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	162.48	< 2,63	119.43	211.70	119.43	211.70
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	153.95	< 4,86	74.8533	224.89	74.8533	224.89
Tempo do Trecho Final de Geofisica	41.2121	< 0,94	24.3365	53.8371	24.3365	53.8371
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	249.46	3,80	194.09	310.50		

O Gráfico 30 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 14. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

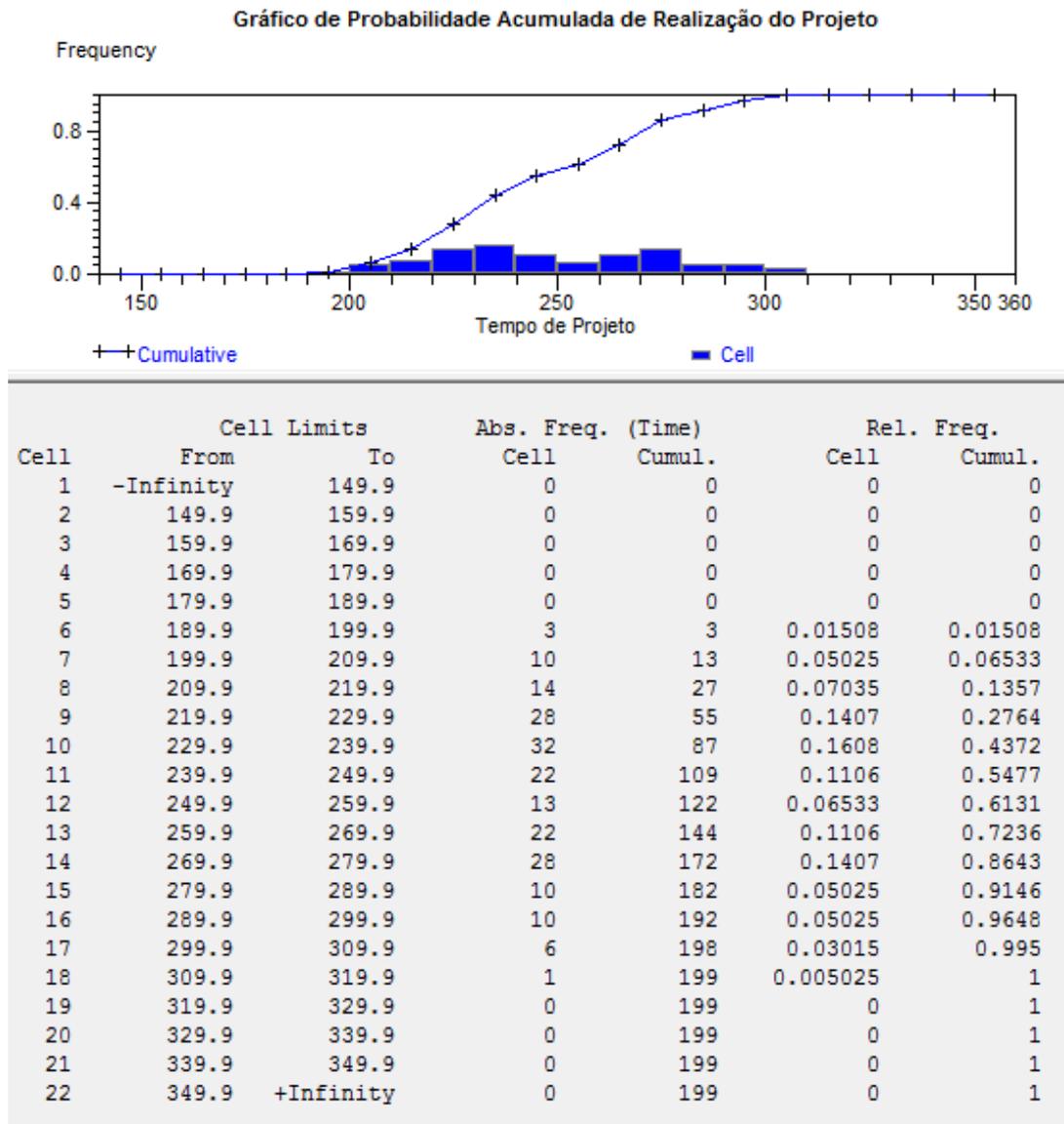


Gráfico 30 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 14

A.3.14 Rodada 15 – Modelo com 1,5 EGF e 2 GE

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas. Além disso, aumenta-se o número de EGF envolvidos no projeto de 1 para 1,5 e aumenta-se o número de GE de 1 para 2 GE . Podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 6 de 24,73 dias para o tempo de projeto (271,49 – 246,76). A Tabela 34 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 34 – Especificado pelo usuário para a rodada 15

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferenca de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	39.4708	< 1,17	18.6102	55.5683	18.6102	55.5683
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	46.9818	< 1,15	33.8342	68.5901	33.8342	68.5901
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	86.4526	< 0,43	80.5786	92.7863	80.5786	92.7863
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	163.96	< 2,59	122.03	209.18	122.03	209.18
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	153.60	< 4,89	77.4807	224.89	77.4807	224.89
Tempo do Trecho Final de Geofisica	43.8212	< 1,17	22.4417	60.5080	22.4417	60.5080
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	246.76	3,87	185.45	308.04		

O Gráfico 31 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 15. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

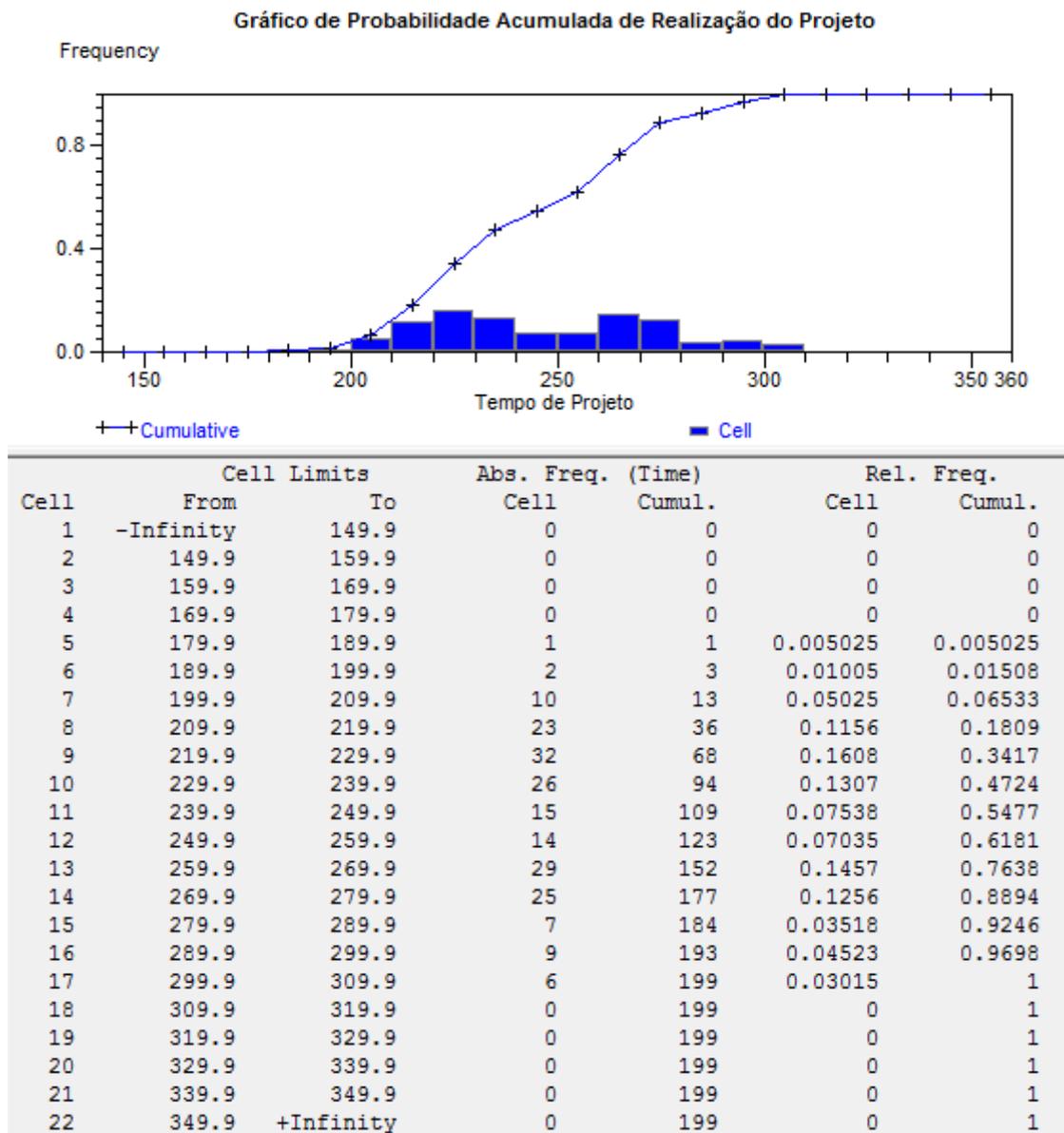


Gráfico 31 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 15

A.3.15 Rodada 16 – Modelo com 1,5 GE

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas. Além disso, aumenta-se o número de GE de 1 para 1,5 GE, sendo o número de EGF é igual a 1. Podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 6 de 10,52 dias para o tempo de projeto (271,49 – 260,97). A Tabela 35 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 35 – Especificado pelo usuário para a rodada 16

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferenca de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	35.4116	< 0,93	19.2279	49.1624	19.2279	49.1624
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	53.0864	< 0,88	40.7252	71.0676	40.7252	71.0676
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	88.4980	< 0,41	82.4836	94.7622	82.4836	94.7622
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	172.34	< 2,78	125.35	222.50	125.35	222.50
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	164.29	< 4,87	81.6456	235.01	81.6456	235.01
Tempo do Trecho Final de Geofisica	41.2121	< 0,94	24.3365	53.8371	24.3365	53.8371
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	260.97	3,61	208.86	320.62		

O Gráfico 32 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 16. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

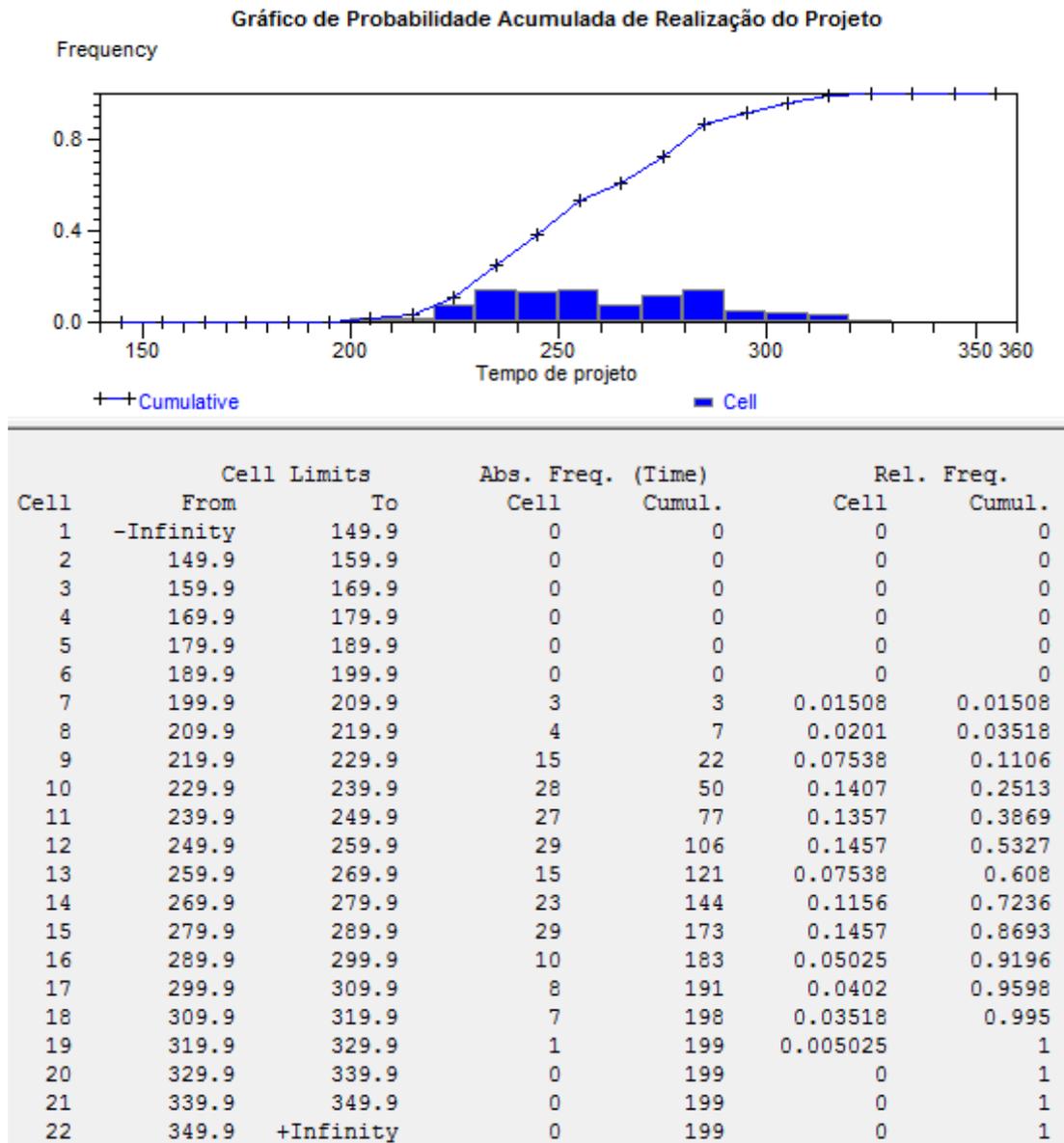


Gráfico 32 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 16

A.3.16 Rodada 17 – Modelo com 2 GE

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas. Além disso, aumenta-se o número de GE de 1 para 2 GE, sendo o número de EGF é igual a 1. Podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 6 de 13,25 dias para o tempo de projeto (271,49 – 258,24). A Tabela 36 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 36 – Especificado pelo usuário para a rodada 17

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	39.4708	< 1,17	18.6102	55.5683	18.6102	55.5683
Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	46.9818	< 1,15	33.8342	68.5901	33.8342	68.5901
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	86.4526	< 0,43	80.5786	92.7863	80.5786	92.7863
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	174.01	< 2,80	129.07	224.11	129.07	224.11
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	163.65	< 4,91	85.5867	235.01	85.5867	235.01
Tempo do Trecho Final de Geofisica	43.8212	< 1,17	22.4417	60.5080	22.4417	60.5080
Output						
Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	258.24	3,69	201.89	318.15		

O Gráfico 33 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 17. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

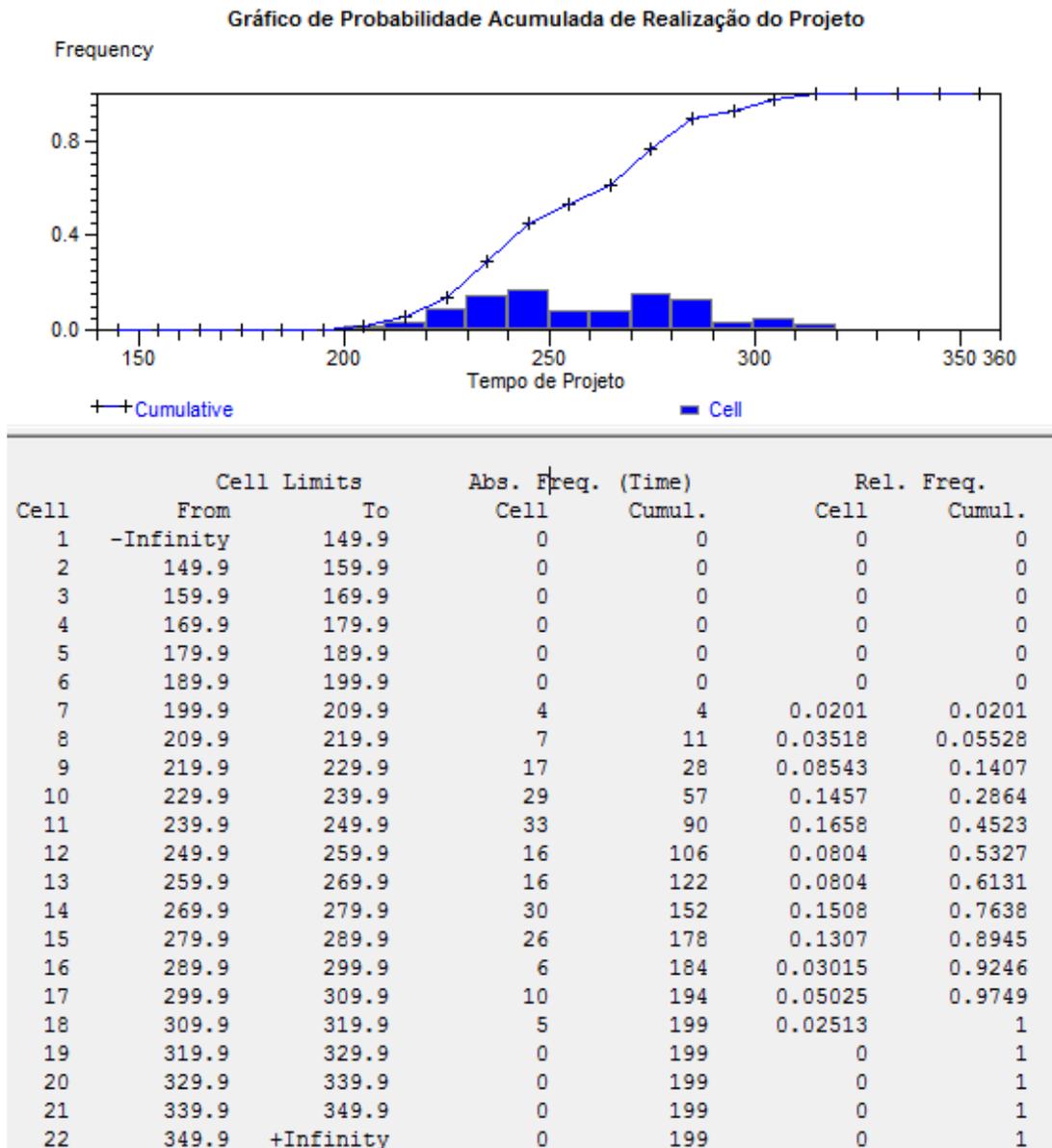


Gráfico 33 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 17

A.3.17 Rodada 18 – Modelo com 2 EGF e 1,5 GE

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas. Além disso, aumenta-se o número de EGF envolvidos no projeto de 1 para 2 e aumenta-se o número de GE de 1 para 1,5 GE . Podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 6 de 27,42 dias para o tempo de projeto (271,49 – 244,07). A Tabela 37 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 37 – Especificado pelo usuário para a rodada 18

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferenca de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	35.4116	< 0,93	19.2279	49.1624	19.2279	49.1624
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	53.0864	< 0,88	40.7252	71.0676	40.7252	71.0676
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	88.4980	< 0,41	82.4836	94.7622	82.4836	94.7622
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	157.51	< 2,57	116.47	205.92	116.47	205.92
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	149.22	< 4,85	71.4571	219.83	71.4571	219.83
Tempo do Trecho Final de Geofisica	41.2121	< 0,94	24.3365	53.8371	24.3365	53.8371
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	244.07	3,89	186.57	305.44		

O Gráfico 34 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 18. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

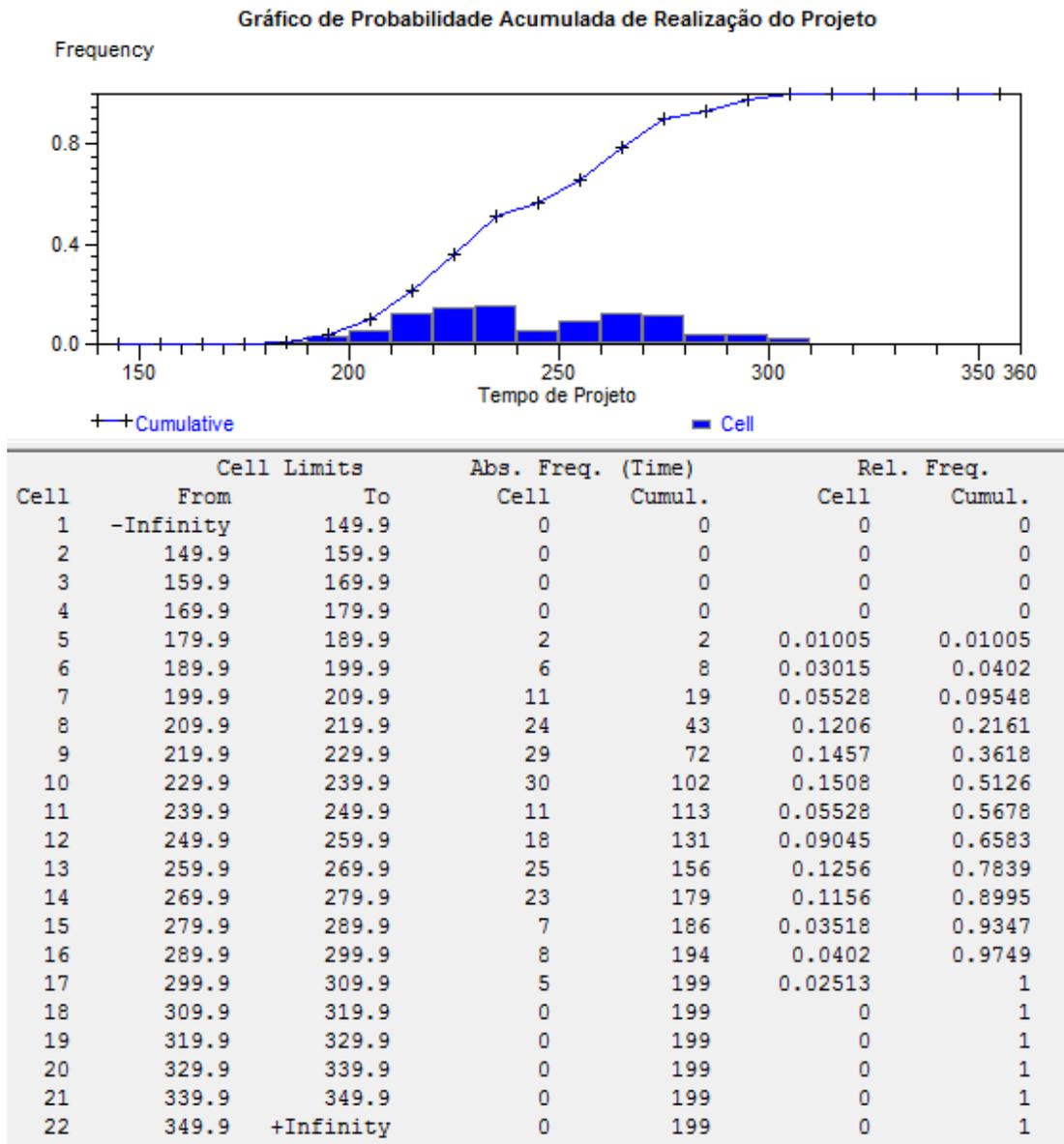


Gráfico 34 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 18

A.3.18 Rodada 19 – Modelo com 2 EGF e 2 GE

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas. Além disso, aumenta-se o número de EGF envolvidos no projeto de 1 para 2 e aumenta-se o número de GE de 1 para 2 GE . Podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 6 de 30,06 dias para o tempo de projeto (271,49 – 241,43). A Tabela 38 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 38 – Especificado pelo usuário para a rodada 19

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferenca de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	39.4708	< 1,17	18.6102	55.5683	18.6102	55.5683
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	46.9818	< 1,15	33.8342	68.5901	33.8342	68.5901
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	86.4526	< 0,43	80.5786	92.7863	80.5786	92.7863
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	159.06	< 2,53	118.50	205.83	118.50	205.83
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	148.91	< 4,89	73.4276	219.83	73.4276	219.83
Tempo do Trecho Final de Geofisica	43.8212	< 1,17	22.4417	60.5080	22.4417	60.5080
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	241.43	3,96	180.27	302.98		

O Gráfico 35 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 19. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

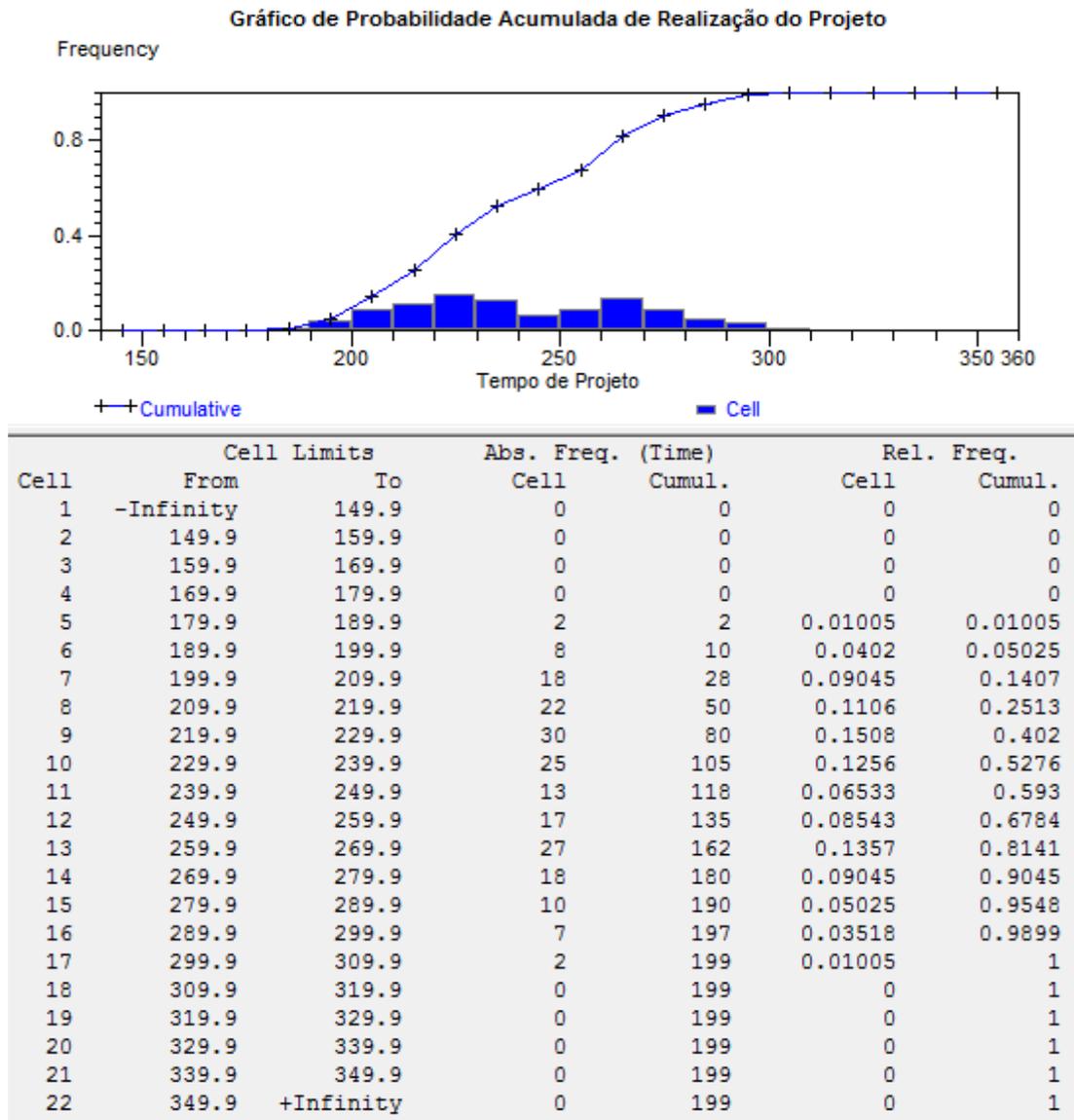


Gráfico 35 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 19

A.3.19 Rodada 20 – Modelo com 3 EGF e 1,5 GE

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas. Além disso, aumenta-se o número de EGFs envolvidos no projeto de 1 para 3 e aumenta-se o número de GE de 1 para 1,5 GE . Podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 6 de 32,45 dias para o tempo de projeto (271,49 – 239,04). A Tabela 39 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 39 – Especificado pelo usuário para a rodada 20

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferenca de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	35.4116	< 0,93	19.2279	49.1624	19.2279	49.1624
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	53.0864	< 0,88	40.7252	71.0676	40.7252	71.0676
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	88.4980	< 0,41	82.4836	94.7622	82.4836	94.7622
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	152.75	< 2,54	113.50	201.60	113.50	201.60
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	144.66	< 4,85	68.0610	214.78	68.0610	214.78
Tempo do Trecho Final de Geofisica	41.2121	< 0,94	24.3365	53.8371	24.3365	53.8371
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	239.04	3,96	182.03	300.38		

O Gráfico 36 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 20. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

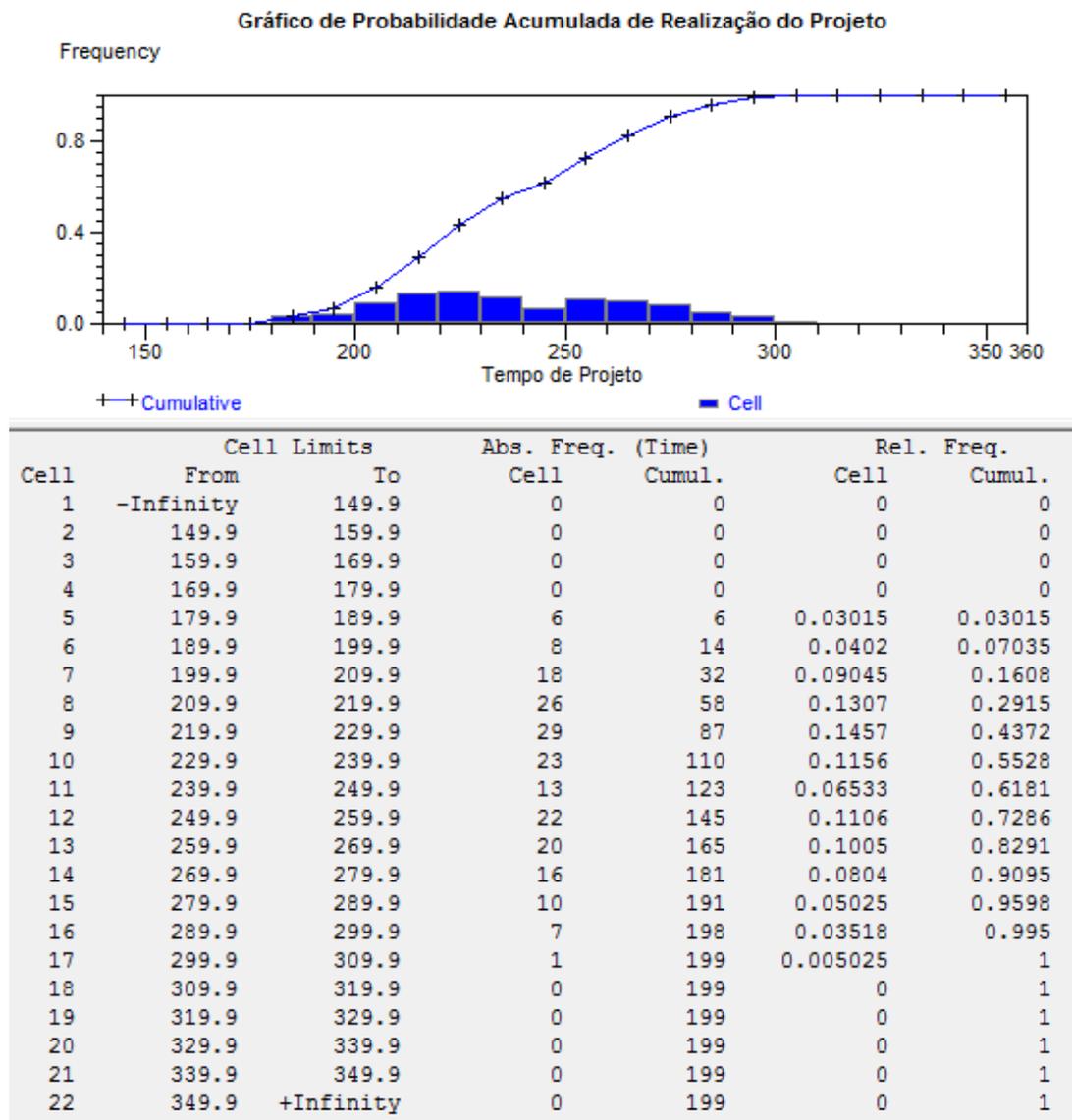


Gráfico 36 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 20

A.3.20 Rodada 21 – Modelo com 3 EGF e 2 GE

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas. Além disso, aumenta-se o número de EGFs envolvidos no projeto de 1 para 3 e aumenta-se o número de GE de 1 para 2 GE . Podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 6 de 35,04 dias para o tempo de projeto (271,49 – 236,45). A Tabela 40 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 40 – Especificado pelo usuário para a rodada 21

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferenca de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	39.4708	< 1,17	18.6102	55.5683	18.6102	55.5683
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	46.9818	< 1,15	33.8342	68.5901	33.8342	68.5901
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	86.4526	< 0,43	80.5786	92.7863	80.5786	92.7863
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	154.17	< 2,48	114.98	199.24	114.98	199.24
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	144.57	< 4,87	68.2856	214.78	68.2856	214.78
Tempo do Trecho Final de Geofisica	43.8212	< 1,17	22.4417	60.5080	22.4417	60.5080
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	236.45	4,03	176.23	297.92		

O Gráfico 37 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 21. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

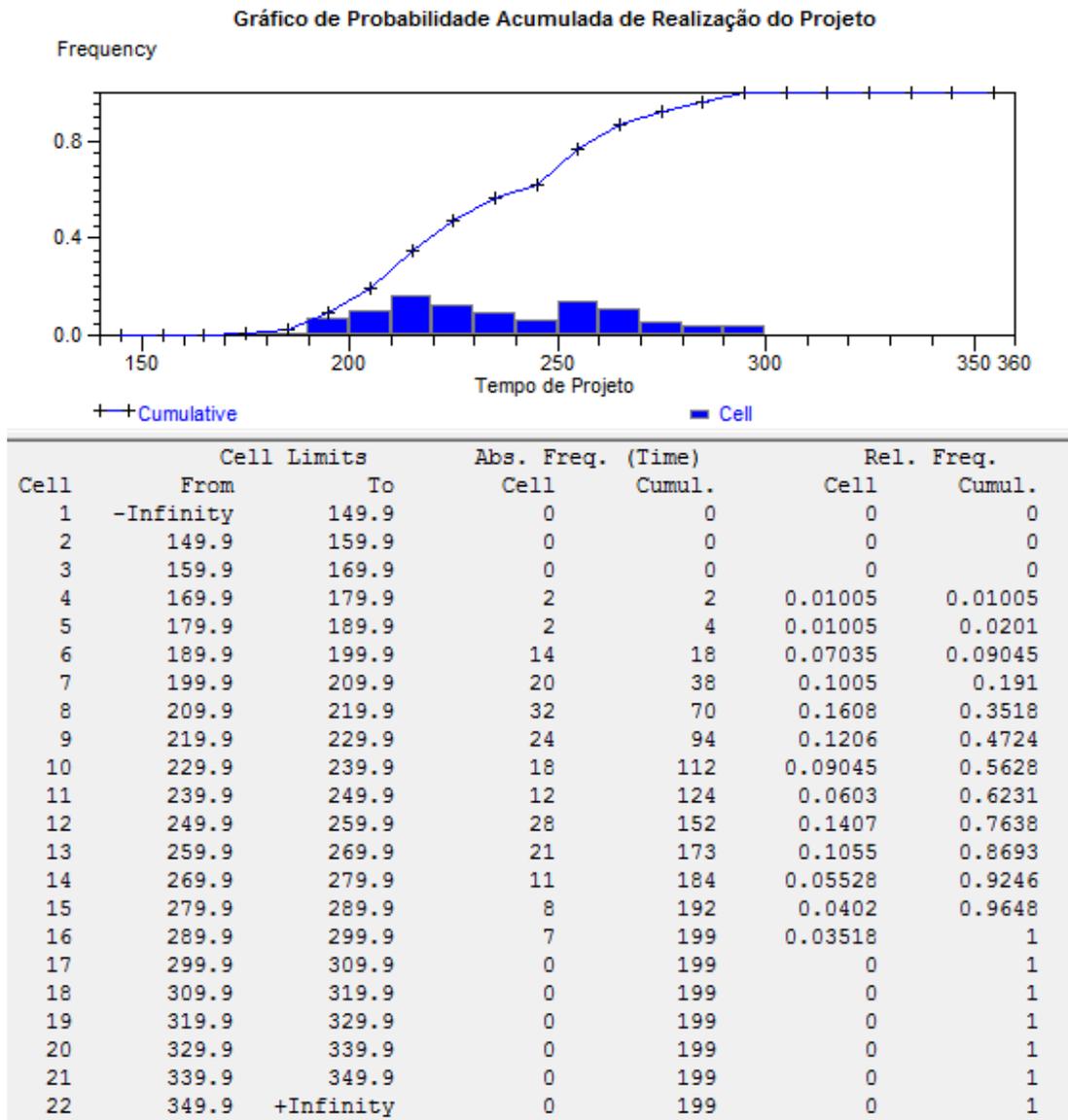


Gráfico 37 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 21

A.3.21 Rodada 22 – Modelo estocástico com redução do tempo de fazer ensaios de laboratório para águas rasas

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas e aumenta-se o número de EGFs envolvidos no projeto de 1 para 1,5 (um EGF com dedicação integral e outro com dedicação de 50% do seu tempo ao projeto). Além disso, todos os valores da distribuição de probabilidade (tempo otimista, moda e tempo pessimista) associada ao tempo de execução de ensaios de laboratório de águas rasas são divididos por dois. Por fim, podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 11 de 26,81 dias para o tempo de projeto (259,57 – 232,76). O objetivo da realização desse cenário é apenas investigativo, já que as ações para a obtenção dessa configuração são desconhecidas. A Tabela 41 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 41 – Especificado pelo usuário para a rodada 22

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	28.7276	< 0,57	6.8326	38.2248	6.8326	38.2248
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	67.6094	< 0,66	55.8851	80.6834	55.8851	80.6834
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	96.3371	< 0,43	87.5160	101.97	87.5160	101.97
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	162.88	< 2,53	122.22	206.72	122.22	206.72
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	101.56	< 2,78	55.8964	148.52	55.8964	148.52
Tempo do Trecho Final de Geofisica	37.4042	< 0,64	12.4596	47.8236	12.4596	47.8236
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	232.76	2,28	191.91	269.35		

O Gráfico 38 abaixo mostra as classes de freqüências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 22. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes

de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

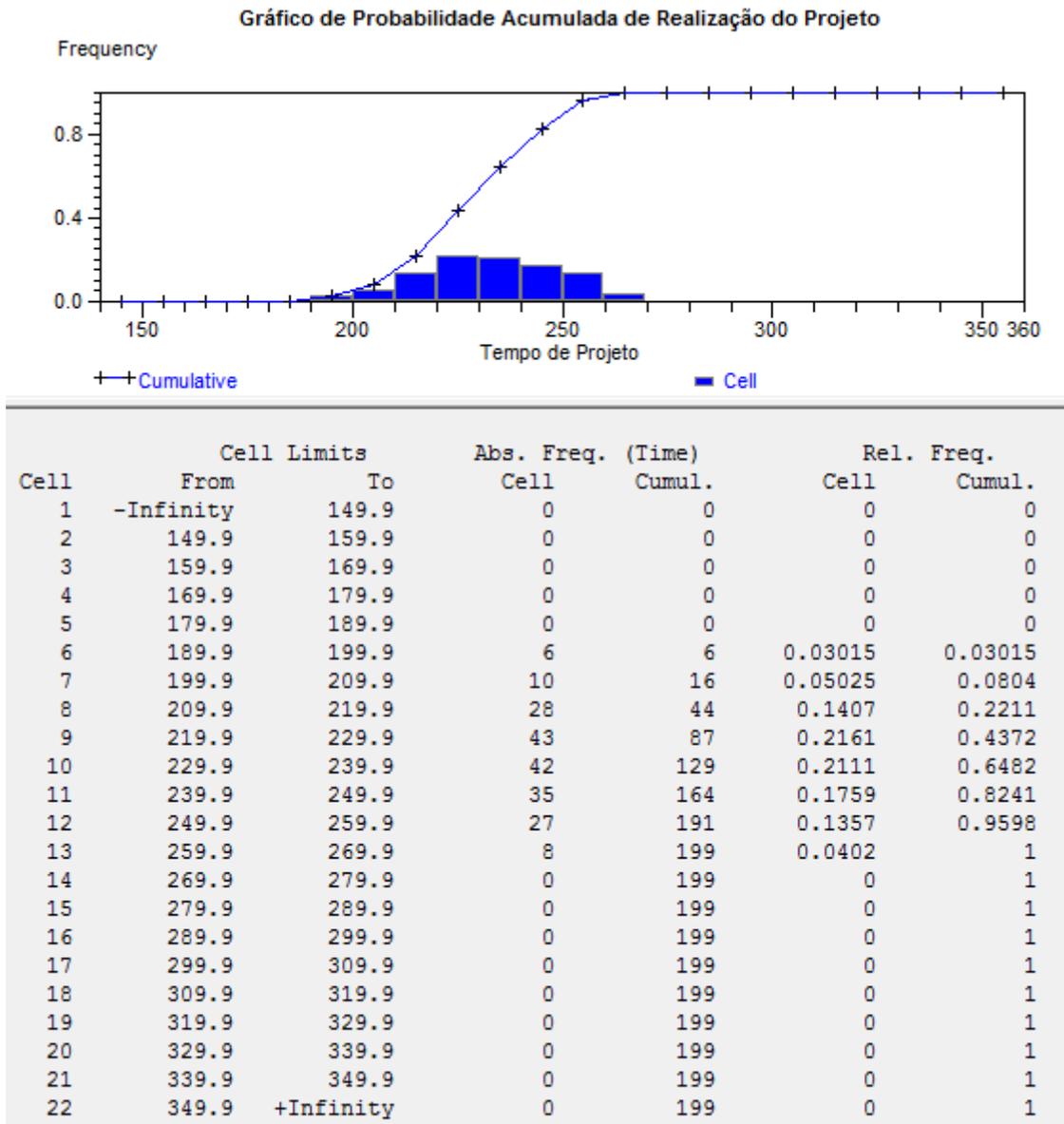


Gráfico 38 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 22

A.3.22 Rodada 23 – Modelo estocástico com redução do tempo de fazer ensaios de laboratório para águas profundas

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas e aumenta-se o número de EGFs envolvidos no projeto de 1 para 1,5 (um EGF com dedicação integral e outro com dedicação de 50% do seu tempo ao projeto). Além disso, todos os valores da distribuição de probabilidade (tempo otimista, moda e tempo pessimista) associada ao tempo de execução de ensaios de laboratório de águas profundas são divididos por dois. Por fim, podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 11 de 9,53 dias para o tempo de projeto (259,57 – 250,04). O objetivo da realização desse cenário é apenas investigativo, já que as ações para a obtenção dessa configuração são desconhecidas. A Tabela 42 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 42 – Especificado pelo usuário para a rodada 23

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferenca de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	28.7276	< 0,57	6.8326	38.2248	6.8326	38.2248
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	67.6094	< 0,66	55.8851	80.6834	55.8851	80.6834
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	96.3371	< 0,43	87.5160	101.97	87.5160	101.97
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	101.58	< 1,58	75.8089	142.21	75.8089	142.21
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	153.62	< 4,80	86.3927	224.89	86.3927	224.89
Tempo do Trecho Final de Geofisica	37.4042	< 0,64	12.4596	47.8236	12.4596	47.8236
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	250.04	4,81	182.74	323.79		

O Gráfico 39 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 23. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes

de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

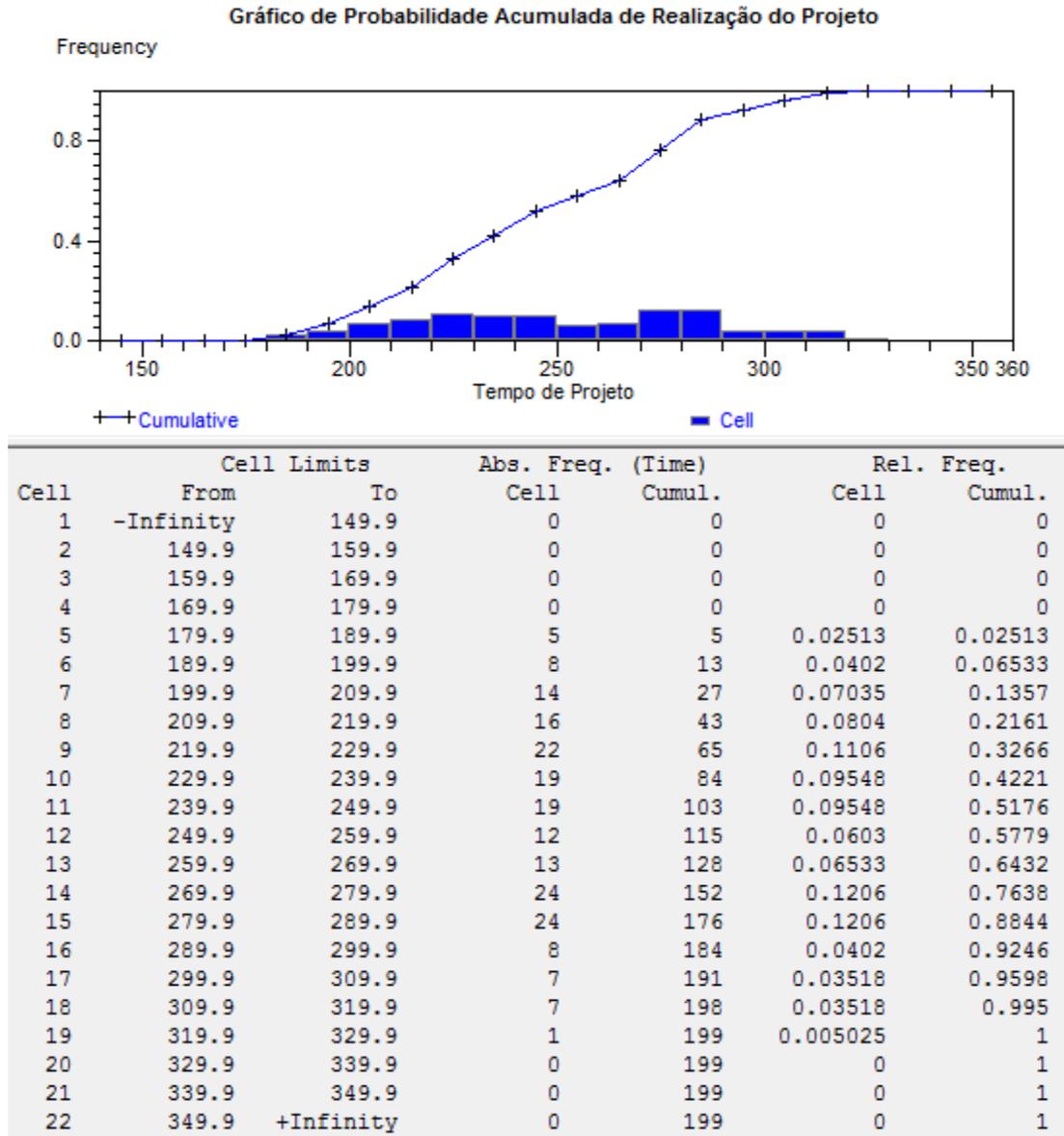


Gráfico 39 – Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 23

A.3.23 Rodada 24 - Modelo estocástico com redução do tempo de fazer ensaios de laboratório para águas rasas e profundas simultaneamente.

Esse modelo considera o cenário de execução do projeto em que o trecho de águas rasas inicia conjuntamente com o trecho de águas profundas e aumenta-se o número de EGF envolvidos no projeto de 1 para 1,5 (um EGF com dedicação integral e outro com dedicação de 50% do seu tempo ao projeto). Além disso, todos os valores da distribuição de probabilidade (tempo otimista, moda e tempo pessimista) associada ao tempo de execução de ensaios de laboratório de águas rasas e profundas são divididos por dois. Por fim, podemos observar que esse cenário proporciona um ganho com relação a rodada 11 de 58,76 dias para o tempo de projeto (259.57 – 200,81). O objetivo da realização desse cenário é apenas investigativo, já que as ações para a obtenção dessa configuração são desconhecidas. A Tabela 43 abaixo apresenta as principais estatísticas para essa rodada de Simulação.

Tabela 43 – Especificado pelo usuário para a rodada 24

Replications: 200 Time Units: Days

User Specified						
Tally						
Between	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Diferença de Tempo Entre Geofisica Rasa e Profunda	28.7276	< 0,57	6.8326	38.2248	6.8326	38.2248
Expression	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Tempo de Geofisica de Aguas Profundas	67.6094	< 0,66	55.8851	80.6834	55.8851	80.6834
Tempo de Geofisica de Aguas Rasas	96.3371	< 0,43	87.5160	101.97	87.5160	101.97
Tempo de Geotecnia de Aguas Profundas	102.34	< 1,70	75.8089	137.60	75.8089	137.60
Tempo de Geotecnia de Aguas Rasas	102.94	< 2,42	59.3868	145.80	59.3868	145.80
Tempo do Trecho Final de Geofisica	37.4042	< 0,64	12.4596	47.8236	12.4596	47.8236
Output						
Output	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average		
Consolidacao dos Relatorios Final	200.81	2,21	167.30	244.70		

O Gráfico 40 abaixo mostra as classes de frequências para o tempo de projeto, por meio de histogramas, assim como o respectivo gráfico de probabilidade acumulada para a rodada 24. As colunas *Cell Limits* fornecem os limites inferior e superior para as classes

de frequência do tempo de projeto, enquanto que as colunas *ABS. Freq* e *Rel. Freq* fornecem a frequência absoluta e a frequência relativa para cada classe de frequência.

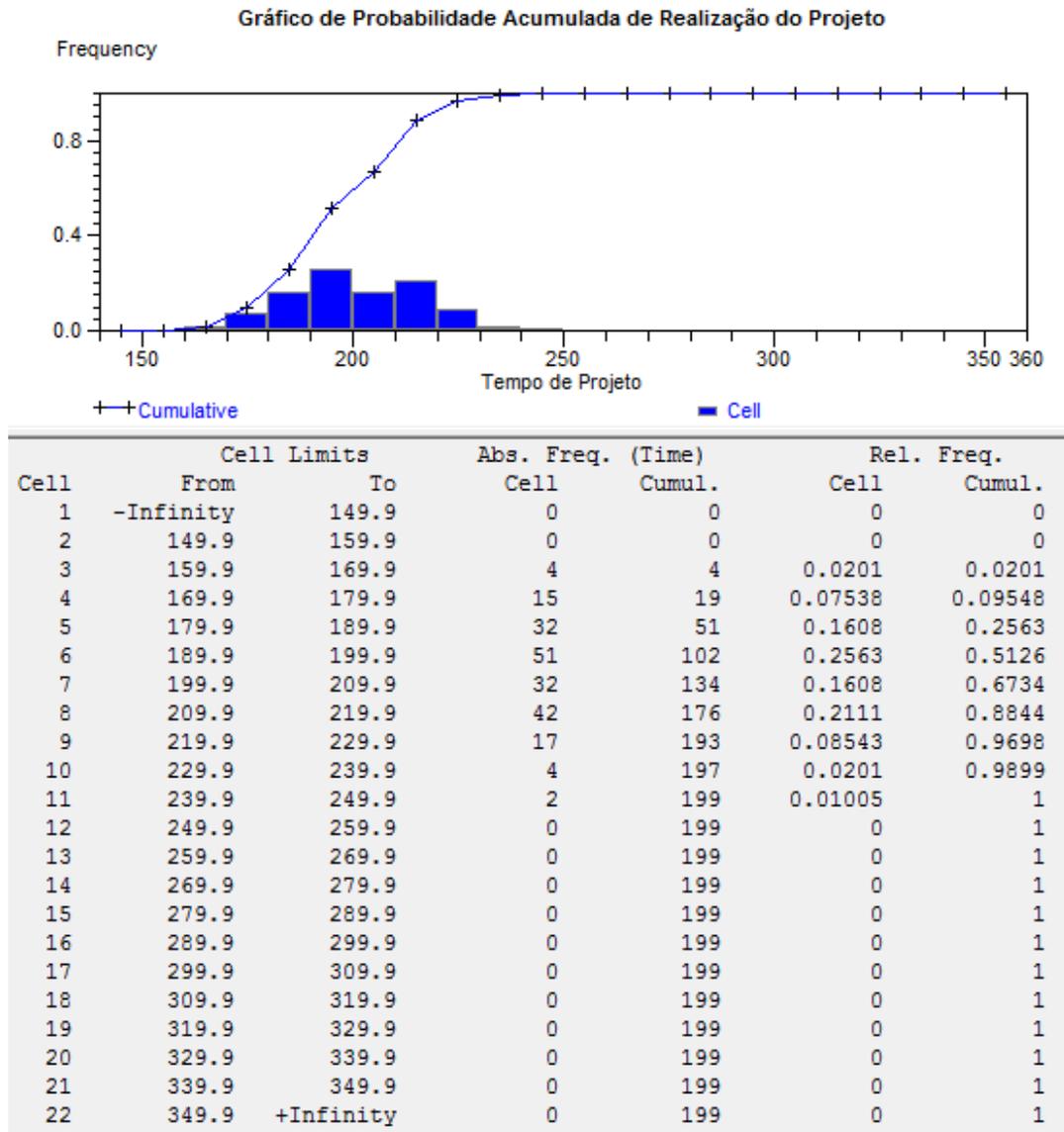


Gráfico 40– Probabilidade acumulada de realização do projeto para a rodada 24

A.4 Comparação de médias com dados emparelhados

A comparação entre duas alternativas de rodada pode ser realizada via a *Comparação de média com dados emparelhados* (KELTON *et al*, 2010). Para as rodadas que se deseja comparar, esse teste pode ser realizado via o recurso do ARENA chamado *Output Analyser*.

As medidas de desempenho das rodadas podem ser consideradas dados emparelhados, na medida em que cada replicação de uma rodada está relacionada com a replicação equivalente da rodada alternativa, por intermédio de uma causa comum a todas as replicações. Ou seja, essa relação tem a mesma causa entre as diversas replicações equivalentes entre as rodadas. Por exemplo, ao mudar uma variável no modelo de Simulação de uma rodada para outra, a causa que originou a diferença entre o resultado da replicação 1, de uma rodada, com a replicação 1, da outra rodada, é a mesma causa que originou a diferença entre a replicação 5 da primeira rodada, com a replicação 5 da outra rodada.

Com relação ao teste propriamente dito, imagine agora uma amostra de uma rodada $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, com média igual a \bar{x} , e uma outra amostra, de outra rodada, $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, com média igual a \bar{t} , emparelhada com a primeira. Chamemos a seqüência $x_1 - t_1, x_2 - t_2, x_3 - t_3, \dots, x_n - t_n$ de $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$.

Agora, definamos que $\bar{d} = (\sum_{n=1}^n d_n)/n$, e que $S_d = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n (d_n - \bar{d})^2}{n-1}}$

Podemos supor (NETO, 2002) que $t_{n-1} = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d/\sqrt{n}}$ tem distribuição *t-student*, sendo

que \bar{d} é a média amostral da amostra das diferenças, μ_d é a média populacional da amostra das diferenças, S_d é o desvio-padrão da amostra das diferenças e n é o tamanho da amostra das diferenças.

Assim, podemos testar a hipótese da igualdade entre as médias, sob uma certa significância α (α = erro do tipo I, ou seja, rejeitar a hipótese H_0 , sendo H_0 verdadeira). Isso é feito por meio de um teste de hipótese bicaudal (NETO, 2002). No estudo de

Simulação em questão, testamos a hipótese da igualdade entre as médias, sob a significância de $\alpha = 5\%$.

$$H_0: \mu_d = 0,$$

$$H_1: \mu_d \neq 0.$$

Se $|t_{n-1}| > |t_{n-1, \alpha/2}|$ então rejeita-se a hipótese H_0 e admite-se que as médias das duas populações, referentes às amostras, são distintas. Do contrário, não há evidências para se rejeitar a hipótese H_0 .

Outra maneira forma de se realizar o teste é por meio do estabelecimento do intervalo de confiança para a μ_d com nível de confiança $(1 - \alpha)$ (KELTON, 2010). Se o intervalo de confiança não contiver 0, então poderemos rejeitar a hipótese H_0 e admitir que as médias são distintas sob significância de α .

Para o 1º caso, comparando a rodada 6 com a rodada 1:

Lembrando que $n = 200$ (Number of obs), $\bar{d} = 39.5$ (Estd mean difference) e que $S_d = 31.7$ (Standard deviation), temos:

$$t_{n-1} = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d / \sqrt{n}} \rightarrow t_{199} = \frac{39.5 - 0}{31.7 / \sqrt{200}} = 17,62 \rightarrow t_{199} = 17,62$$

Então, $t_{199} = 17,62$

Por meio de uma tabela *t-student*, $t_{n-1, \alpha/2} = 1,960$, com $\alpha = 5\%$ e $n=200$, ou 199 graus de liberdade. Logo, $t_{199, 5\%/2} = 1,96$

Como $t_{199} \gg t_{199, 5\%/2}$, pois $17,62 \gg 1,960 \rightarrow$ Rejeita-se a hipótese H_0 . Ou seja, não há evidências estatísticas de que as médias das rodadas 6 e 1 sejam iguais em um nível de significância de 5%. Logo, rejeita-se H_0 e admite-se que as médias são distintas.

A outra forma de realização do teste:

$$\text{Intervalo de confiança para } \mu_d: \text{IC} = \bar{d} \pm h = \bar{d} \pm t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{S_d}{\sqrt{n}}$$

Para $\alpha = 5\% \rightarrow t_{199,5\%/2} = 1,96$, logo $h = 1,960 \times \frac{31,7}{\sqrt{200}} = 4,39$ (half-width)

Assim, $IC = \bar{d} \pm h = 39,5 \pm 4,39 = (35,1; 43,9) \therefore IC$ possui $(1 - \alpha) = 95\%$ de confiança. Como o intervalo não contém 0, rejeita-se H_0 e admite-se que as médias são distintas.

Para o 2º caso, comparando a rodada 11 com a rodada 1:

Lembrando que $n = 200$ (Number of obs), $\bar{d} = 51,4$ (Estd mean difference) e que $S_d = 32,5$ (Standard deviation), temos:

$$t_{n-1} = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d/\sqrt{n}} \rightarrow t_{199} = \frac{51,4 - 0}{32,5/\sqrt{200}} = 22,37 \rightarrow t_{199} = 22,37$$

Então, $t_{199} = 22,37$

Por meio de uma tabela *t-student*, $t_{n-1,\alpha/2} = 1,960$, com $\alpha = 5\%$ e $n=200$, ou 199 graus de liberdade. Logo, $t_{199,5\%/2} = 1,96$

Como $t_{199} \gg t_{199,5\%/2}$, pois $22,37 \gg 1,960 \rightarrow$ Rejeita-se a hipótese H_0 . Ou seja, não há evidências estatísticas de que as médias das rodadas 11 e 1 sejam iguais em um nível de significância de 5%. Logo, rejeita-se H_0 e admite-se que as médias são distintas.

A outra forma de realização do teste:

Intervalo de confiança para μ_d : $IC = \bar{d} \pm h = \bar{d} \pm t_{n-1,\alpha/2} \times \frac{S_d}{\sqrt{n}}$

Para $\alpha = 5\% \rightarrow t_{199,5\%/2} = 1,96$, logo $h = 1,960 \times \frac{32,5}{\sqrt{200}} = 4,50$ (half-width)

Assim, $IC = \bar{d} \pm h = 51,4 \pm 4,50 = (46,9; 55,9) \therefore IC$ possui $(1 - \alpha) = 95\%$ de confiança. Como o intervalo não contém 0, rejeita-se H_0 e admite-se que as médias são distintas.

