

A Strategy Using Continuous Simulation to Mitigate Effort Estimation Risks in Software Projects

J. Zanella, J. Montenegro, J. Canto, J. Victória, and C. da Costa, *Senior Member, IEEE*

Abstract—The role of project managers has become crucial to the success of software development companies, it is imperative to understand customer requirements while address business needs. In this context, the present work aims to present simulation as a strategy to mitigate fails in software development effort estimation. In doing so, it will activate an outstanding project manager’s asset for risk management. This study used historical data of 181 project from a software company and the simulation package ARENA®, to model and evaluation. Results point that the current method of project effort estimation - based on empirical feeling-based estimates of its employees - should be improved with the approach of continuous simulation. The modeling of this simulation provided a better understanding of efforts ranges applied in software developments on this company, and, most important, the amount of risk taken on each total effort estimative. This simulator attends the prerogatives of the project risk management area, being able to support decisions regarding schedule, resources bottlenecks and risk taken.

Index Terms—Continuous Simulation, Effort Estimation Risk, Risk Mitigation, Software Development, Project Management Tools.

I. INTRODUÇÃO

A área de gerenciamento de projetos é considerada crucial para o sucesso de empresas em diversos segmentos. A utilização desta prática dentro das empresas tornou-se imprescindível para organizações que buscam eficiência e controle em projetos, capacidade de mensuração de tempo, riscos, e tarefas. O Instituto de Gestão de Projetos (PMI) em sua edição de 2014 elencou os problemas mais frequentes na gerência de projetos, que são: má comunicação, falta de cumprimento de prazos, definição inadequada do escopo, mudanças constantes em escopo, recursos humanos e riscos insuficientes não avaliados adequadamente [2].

Neste sentido, muitas pesquisas vêm buscando compreender a relação entre *stakeholders* com as organizações para construir mais sinergia nos projetos, reduzindo ruídos de comunicação e evitando re-trabalhos. Ainda, outras têm se direcionado para o contexto do gestor de projetos, as suas angústias e dificuldades para gerir estes processos. Neste sentido, a seara de riscos em projetos tem ganhado destaque, sendo desenvolvidos um número crescente de estudos, ofertando padrões e pesquisas [5, 6, 10, 13, 21, 23, 29, 35, 39, 40, 41].

Métodos de programação de projetos sofrem com a falta de precisão e consequentemente, a criação de um cronograma de projeto realista e utilizável é um grande desafio, devido

à tentativa de estimar o tempo, atribuir recursos, determinar interdependências entre tarefas, e gerenciar mudanças [22, 28]. A identificação de riscos é o processo para determinar eventos que, se ocorressem, poderiam afetar os objetivos do projeto de maneira positiva ou negativa. Análise de risco é o processo de avaliação e priorização de riscos, essencialmente no que diz respeito às suas características como probabilidade e impacto. O processo de planejamento de respostas a riscos visa escolher ações que possam reduzir a exposição global ao risco com menor custo [13]. O monitoramento e controle de riscos é o processo contínuo de “implementação de planos de resposta a riscos, rastreamento de riscos identificados, monitoramento de riscos residuais, identificação de novos riscos e avaliação da efetividade do processo de risco em todo o projeto” [13].

Neste contexto, o presente artigo tem por objetivo apresentar uma estratégia para auxiliar na mitigação de riscos nas estimativas de duração de projetos de desenvolvimento de *software*. Para isso, buscou-se mapear os processos de uma empresa que atua no desenvolvimento de aplicativos móveis e, a partir de seu banco de dados histórico de projetos de média complexidade, desenvolver um simulador que, ao incorporar os comportamentos dos dados históricos, permita aprimorar estimativas de esforço em projetos, mitigando riscos associados a erros de estimativa e contribuir com a rentabilidade do negócio.

Nesse âmbito, o presente estudo utiliza-se da ferramenta ARENA® da Rockwell Automation (versão 14.1) para a realização dos experimentos. O sistema de modelagem ARENA® oferece flexibilidade, permitindo criar modelos de simulação animados, sendo utilizado como ferramenta de simulação tanto de eventos discretos quanto contínuos com as mais diferentes complexidades [20, 30, 31, 42, 43] e emprega um *design* orientado a objetos para o desenvolvimento de modelos inteiramente gráficos. Neste estudo, será utilizado como estratégia de suporte à gerenciamento de riscos [8, 17, 38].

Este artigo está organizado em seis seções. Nesta primeira, se apresenta o projeto, seus objetivos e a problemática. Na seção seguinte se expõe o suporte teórico desta pesquisa. A seção três é destinada apresentação do método de pesquisa ao detalhamento da simulação realizada. Os resultados são apresentados na seção quatro. A seção cinco se destina a discussão e implicações dos resultados obtidos, por fim, a seção seis é destinada às considerações finais e proposições para estudos futuros.

II. SUPORTE TEÓRICO

Esta seção se propõe a contextualizar a temática desta pesquisa a partir de publicações identificadas.

A. Simulação em Gerência de projeto

O contexto vivenciado por gestores de projetos em diversas organizações é de desafio contínuo na tomada de decisão, gerência de tempo, custos e pessoas. Um bom gestor de projetos deverá estar capacitado e qualificado em tarefas de coordenação, controle, planejamento e comando. Para apoiar o gestor de projetos em suas decisões, alguns estudos vêm propondo o uso de simuladores que é considerado uma técnica que aplica, na prática redes com nível próximo da realidade.

O estudo de Kurihara and Nishiuchi [18] realiza o desenvolvimento de uma rede estocástica combinada com a metodologia de Monte Carlo para obter estimativas com relação ao tempo e orçamento de um projeto. Para isso, utilizou-se dados históricos no gerenciamento de projetos para mapear as etapas e realizar a simulação de Monte Carlo com o intuito de obter as primeiras estimativas, e após isso, realizar o mesmo procedimento utilizando a rede proposta no estudo. Neste estudo foi possível identificar a mesma acurácia da rede proposta com relação à simulação de Monte Carlo.

A proposta de McCreery [27] foi o uso de um exercício de simulação de gerenciamento de projetos em sala de aula. Neste contexto, o uso deste simulador possibilita a aplicação em sala de aula de maneira que os alunos possam vivenciar a experimentação real a partir dos conceitos debatidos em sala. Os resultados gerados a partir de análises ANOVA demonstraram neste estudo que a utilização de simuladores de gestão de projetos em sala de aula possui efeitos positivamente e significativamente diferentes de outras abordagens, sendo possível verificar a eficácia desse método para o aprendizado. Ainda no contexto da educação, o trabalho de Dantas et al. [9], propõe o desenvolvimento de um jogo baseado em simulação com o propósito de avaliar esta como uma estratégia de ensino da matéria de gerenciamento de projetos. O estudo obteve como resultados a constatação de que o ensino via simuladores junto a gestão de projetos possibilita ao aluno a experiência de viver situações do cotidiano de um gestor, porém, evidencia como limitação a necessidade de tornar as situações nos *softwares* mais realistas, aumentando o número de cenários.

Além dos diversos estudos direcionados a área educacional como visto anteriormente, alguns trabalhos abordam simuladores com o objetivo de mitigarem riscos em projetos realizados por organizações nos mais diversos cenários. Se por um lado estudo focam na aprendizagem organizacional [4, 25, 36] para mitigar incertezas no desenvolvimento de *software*, outra pesquisas como o trabalho de McCabe [26] propõem modelos probabilísticos de simulação utilizando para estimar riscos. Os resultados deste estudo demonstraram que o uso desta simulação para esta tarefa em específico traz assertividade, demonstrando grande similaridade com resultados reais.

Ainda no contexto de riscos em projetos, o artigo proposto por Houston et al. [12] descreve uma abordagem para modelar fatores de risco, simulando seus efeitos como meio de apoiar atividades de gerenciamento de risco em empresas de desenvolvimento de *software*. Para a realização do trabalho, inicialmente o autor propõe a análise dos fatores de riscos e incertezas envolvidos no projeto, e a partir disso, identi-

ficar os efeitos potenciais que estes fatores podem causar no projeto. Este processo de verificação e identificação de riscos é realizado pelo modelo proposto no trabalho, utilizando a combinação de dois simuladores propostos em outras duas publicações Abdel-Hamid and Madnick [1] e Tvedt [37] direcionados ao gerenciamento de projetos. A partir da aplicação deste modelo composto pelos autores, nomeado como SDRF, foi possível inferir a partir dos resultados que ela pode ser um ferramental importante no auxílio do planejamento de etapas do projeto e também na sua avaliação. Ainda, é possível verificar que gestores de projetos de *software* podem usufruir do modelo de maneira a simular planos de contingência e mitigação de riscos, fornecendo um suporte maior para a tomada de decisão.

B. Simulação Contínua

Modelos de simulação contínua ou simplesmente modelagem dinâmica de sistemas, são constituídos por funções contínuas que avançam através do tempo. Desta maneira, esta simulação é concebida a partir de chamados "fluxos" acumulados em diversos "níveis", com o fluxo podendo ser representado como funções dinâmicas ou consequências de outras variáveis do sistema. O exemplo elucidado no trabalho de Martin and Raffo [24], considera a taxa de geração de erros sendo representado no modelo como "fluxo" e o atual número de erros como sendo os níveis.

Artigos como os de Kellner et al. [14] e Martin and Raffo [24] comparam a abordagem de simulação contínua com a abordagem de simulação com eventos discretos. Kellner et al. [14] aborda como vantagens no uso de simulação contínua a acurácia na captura de *feedback* e a representação mais clara dos relacionamentos entre variáveis dinâmicas. Para Martin and Raffo [24] apesar das vantagens, o modelo de simulação contínua não consegue elucidar de forma clara as etapas do processo. Em um contexto de sequência de tarefas, por exemplo, torna-se importante adicionar algum mecanismo de controle para que não aconteça de todas as serem executadas de uma só vez. Desta forma, segundo Martin and Raffo [24] o modelo de simulação contínua torna-se conveniente em projetos de análises estratégicas, análises de tendências e perspectivas, ou seja, onde o foco principal não se referem a processos.

Em uma linha oposta à descrita anteriormente, alguns estudos combinam a modelagem de simulação contínua com a gestão de projetos, obtendo resultados relevantes. O estudo de Roberts [32] aplicou a modelagem de simulação contínua no contexto de gerência de projetos pela primeira vez, iniciando discussões relacionadas ao uso deste método nesta área. O livro de Abdel-Hamid and Madnick [1] direcionou-se para a área de gerência de projetos em empresas de *software*, utilizando simulação contínua para processos no desenvolvimento de sistemas. Mais recentemente Waledzik and Mandziuk [39] fazem uso de técnicas computacionais híbridas para busca de soluções para programação de prazos de projetos. Consonante a isso, Santos and Ferreira [33] apresentam e discutem a obtenção de estimativas de esforço para desenvolvimento de *software* na indústria aeronáutica.

III. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

O presente trabalho utilizou como base para a realização da simulação dados fornecidos pela Alfa33¹, uma empresa da área de desenvolvimento de *software* para dispositivos móveis, localizada no sul do Brasil. Foram obtidos um conjunto de dados referentes a projetos realizados nos últimos dois anos junto a área de gestão da empresa. Este histórico contemplando 181 projetos de média complexidade realizados pela organização. A base empregada contém dados que permitem identificar o esforço destinado a cada projeto como: (1) Tempo destinado ao Levantamento Inicial, (2) Tempo para criação do *Mockup*, (3) Tempo para obtenção da Aprovação de Clientes, (4) Previsão inicial de Esforço, (5) Tempo para construção dos Casos de Uso, (6) Quantidade de Tarefas, (7) Tempo para Especificações, (8) Tempo para Codificação, (9) Tempo para Homologação e (10) Tempo de Re-trabalho. Todos os dados fornecidos foram obtidos no JIRA² e tabulados em Microsoft Excel.

Este estudo fez uso de uma metodologia simplificada³, composta de cinco etapas: (a) Planejamento - alinhamento com a empresa e opção por projetos de média complexidade; (b) Coleta de dados - neste contexto a obtenção de dados no JIRA; (c) Preparação dos dados - tabulação e consolidação dos dados obtidos no Excel; (d) Modelagem do processo - composição de modelo representativo do processo no ARENA[®] Simulation; e, (e) Análise dos resultados.

Os dados estão orientados ao fluxo adotado nas tratativas de projetos de média complexidade. O projeto inicia com um levantamento preliminar da necessidade, seguido pela construção de um *mockup*, ou seja, a prototipagem das principais telas propostas para a aplicação. Após essa etapa, em conjunto com os *stakeholders*, os *mockups* são avaliados e refinados ao ponto que permitam se estabelecer com clareza o escopo do projeto e servirem de base para as estimativas e propostas comerciais.

A prática atual para a estimativa de esforço total (base para o orçamento) é uma combinação de *feeling* da equipe que participou do processo de criação dos *mockups* e validação com experiências passadas em projetos análogos e margens de contingências. Em resumo, esforço médio com uma pitada de "achometria".

Sendo a proposta comercial aceita o projeto é detalhado com o uso de técnicas de casos de uso (UML), e a identificação das tarefas do projeto e suas especificações técnico-funcionais, que precede a etapa final do projeto: codificação. Ainda, a equipe do projeto mantém um controle de horas investidas na homologação, que não envolvem seu time de desenvolvimento, porém, fazem parte do *leadtime* total do projeto. Além disso, um registro de retrabalhos do time de desenvolvimento é mantido.

A modelagem e a simulação deste processo foi realizada com o apoio do *software* ARENA[®] Simulation, da Rockwell. Optou-se por esta ferramenta por sua ampla utilização no mercado, grande penetração no meio acadêmico e dispor de uma versão para uso estudantil.

¹Nome fantasia

²Popular *software* de gestão e acompanhamento de projetos

³Esta metodologia é inspirada nas dez etapas para estudos de simulação de Law and Kelton [19]

Os dados obtidos neste banco de dados foram submetidos a ferramenta *Input Analyser*, disponível junto a instalação do ARENA[®], para assim se identificar as distribuições estatísticas mais adequadas a cada uma das etapas desta amostra de projetos. O resultado desta análise é apresentado na Tabela I, usando a notação do ARENA[®].

A primeira etapa deste projeto foi modelar o sistema no ARENA[®] Simulation. Nesta etapa o fluxo de atividades foi modelado contemplando às seis principais fases do gerenciamento de projeto desta empresa, são elas:

- *Mockup*: esta etapa envolve todas as atividades de construção de protótipos para as principais telas do sistema. É considerada uma etapa de pré-venda, onde provas de conceitos são realizadas para definir com clareza o escopo do projeto a todos os envolvidos;
- Aprovação Cliente: Etapa de pré-venda onde os *mockups* desenvolvidos são apresentados e as negociações para fechamento do projeto são realizadas. Esta etapa pode ter três saídas: projeto aprovado, revisão do *mockup* ou projeto cancelado;
- Priorização de Projetos: Etapa que trata da ordenação do fluxo dos projetos. Nesta etapa, fatores estratégicos e econômicos são utilizados para determinar a sequência de execução de projetos;
- Criação de Casos de Uso: Etapa destinada à construção dos casos de uso das funcionalidades presentes no escopo. Nesta etapa a figura do *Product Owner* é peça fundamental por ele representa os interesses do cliente deste projeto dentro da organização. Cabe a ele, também, priorizar e acompanhar as entregas do projeto.
- Fila de Projetos: Garantir que todas as funcionalidades previstas para um projeto sejam entregues por uma equipe multifuncional antes que se inicie outro projeto é a principal função deste controle.
- Codificação: Processo *core* da organização. Todas as atividades necessárias para a entrega das atividades do projeto são realizadas nesta etapa. As equipes que atuam aqui são multifuncionais –dominam técnicas de análise, diagramação e programação. No momento em que este levantamento foi realizado, haviam oito equipes com cinco membros cada. As equipes fazem uso de ferramentas inspiradas em métodos ágeis para desenvolvimento de *software*: quadro Kanban, *daily meeting*, *burndown chart*, entre outros.

O resultado final da modelagem, com alguns elementos gráficos de apoio a análise, pode ser observado na Figura 1.

Foram incorporados ao mapeamento do fluxo alguns elementos de apoio:

TABELA I
DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS OBTIDAS A PARTIR DE DADOS HISTÓRICOS

Etapa	Fórmula
<i>Mockup</i>	TRIA(7.5,17.8,40.5)
Aprovação	7.5 + 25 * BETA(0.635, 0.524)
Priorizar Projetos	TRIA(1,2,4)
Casos de Uso	TRIA(4.5,17,58.5)
Codificação	NORM(78.5, 18.9)

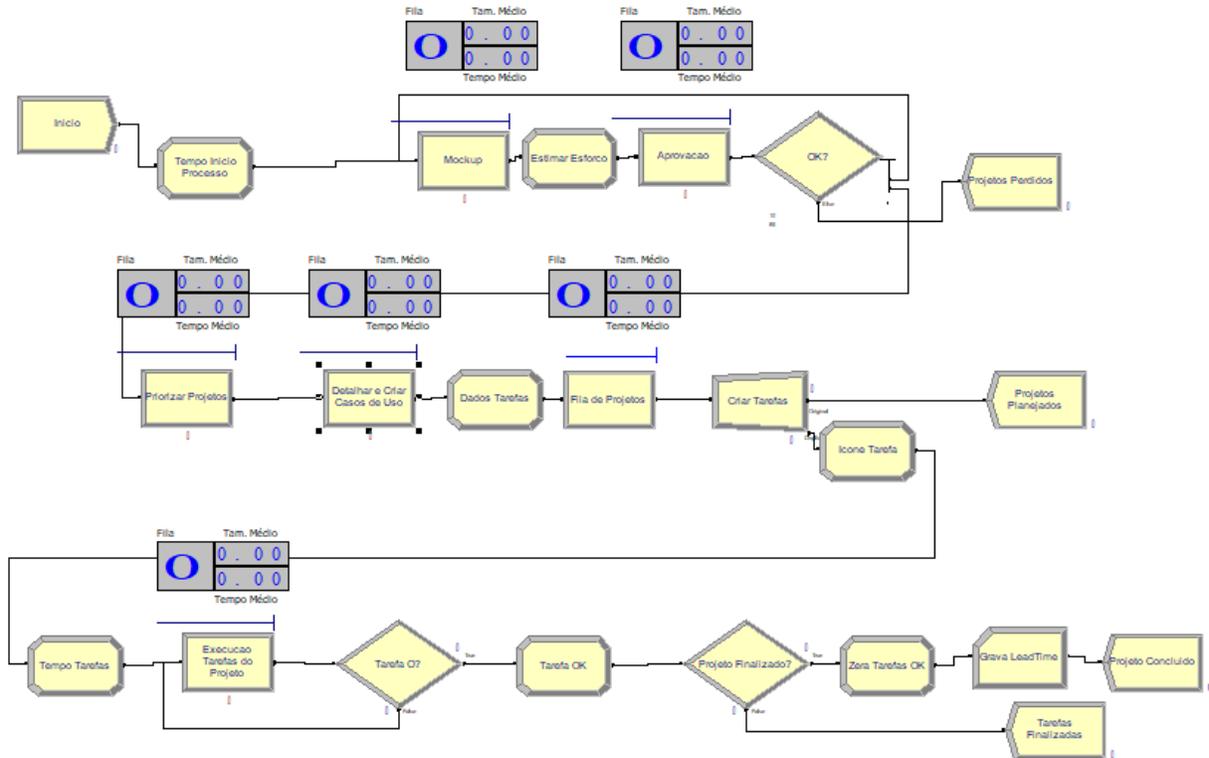


Fig. 1. Modelo para simulação de projetos de média complexidade na Alfa33.

- **Acompanhamento das filas:** indicador da quantidade de projetos e tarefas em cada uma das filas. Este quadro sinóptico contém o tamanho da fila, o tamanho médio e o tempo médio de permanência do projeto na fila;
- **Gráficos de comportamento:** painéis gráficos com o comportamento das filas no tempo, quantidade de projetos entregues, *leadtime* de entrega e duração dos projetos apoiam a observação do avanço da simulação.

Por fim, ainda foram propostos no ambiente de simulação três gráficos de acompanhamento com o propósito de oferecer ao gestor de projetos informações gráficas para tomada de decisão referente ao tempo das filas (*buffers*): execução de tarefas e *Leadtime*.

O gráfico de tempo nas filas proporciona ao gestor do projeto uma visão holística sobre o tempo total das tarefas executadas na fila de *mockup*, o tempo de espera na fila de Aprovação e para tomada de decisão na priorização do projeto. O gráfico também proporciona a visualização do tempo de espera na fila de projeto, onde um projeto aguarda

o fim do projeto em andamento para entrar em execução, já que os processos se desenvolvem de maneira sequencial. No que tange ao gráfico de execução de tarefas, o gestor se permite mensurar o tempo de execução que os projetos estão levando para executar as tarefas contidas no projeto, podendo identificar riscos relacionados ao prazo de entrega.

A Figura 2 apresenta um elemento gráfico que permitiu o acompanhamento do estado atual da simulação, seguir seu comportamento no tempo, apontar gargalos e possibilitam avaliar rapidamente a eficácia de ações tomadas. Este quadro sinóptico, apresenta indicadores de acompanhamento sincronizados com o tempo simulado (informação *on-line*).

Para permitir o aprofundamento da análise e endereçar o problema original deste artigo, os dados de tempo agregado total e tempo de passagem total, por projeto, foram coletados e armazenados em um arquivo texto.

Esta coleta de dados contou com 100 replicações, sendo que cada replicação simulou a execução de 100 projetos a um ritmo de um novo projeto a cada dois dias.

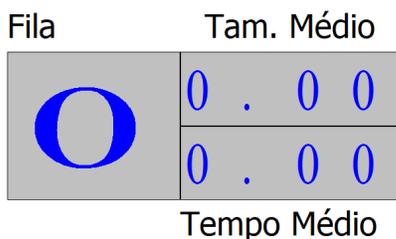


Fig. 2. Quadro Sinóptico.

IV. RESULTADOS

Os projetos de desenvolvimento de aplicativos desta empresa foram modelados e simulados a partir de dados históricos disponibilizados. A prática atual para as estimativas de esforço total de um projeto – base para as propostas comerciais – é realizada em acordo com um processo que contém riscos inerentes a natureza das estimativas. Ao submeter este processo a 100 replicações de cenários de simulação onde 100 projetos são liberados a um ritmo de dois projetos por semana, obtêm-

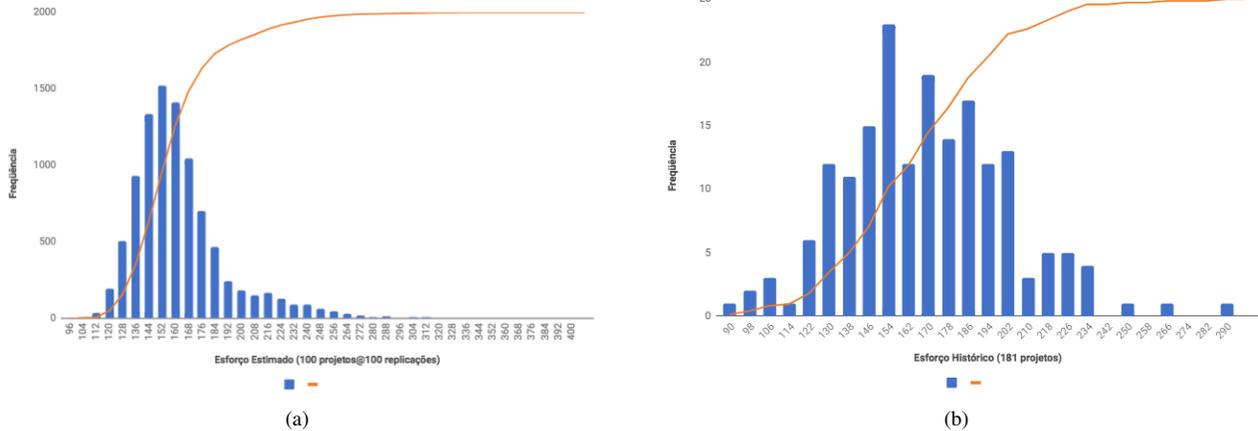


Fig. 3. Histogramas de esforço. (a) Esforço Estimado, and (b) Esforço Histórico.

se dados que permitem aprofundar a discussão a respeito da qualidade das estimativas de esforço até então empregadas.

Os resultados obtidos neste estudo podem ser sintetizados em duas imagens. Enquanto a Figura 3a apresenta o histograma da distribuição de frequência⁴. Os resultados desta abordagem trazem, uma importante métrica para apoiar a estimativa de projetos de média criticidade para esta empresa – foco deste estudo, pois, além de prover dados sobre os tempos considerados “normais” para estes projetos, apresenta também o percentual (%) de risco associado a esta estimativa (observe-se a curva de frequência acumulada). Em sendo assim, ao se oferecer uma estimativa de esforço de 160 horas para um projeto o gestor saberá que está assumindo um risco de aproximadamente 37%, pois apenas 63% dos projetos de média criticidade são finalizados em 160 horas ou menos. Ao passo que se a estimativa a ser apresentada for de 184 horas o risco assumido seria pouco maior que 13%, uma grande redução de risco com três dias a mais de projeto.

Análise similar pode ser realizada a partir dos dados oriundos de 181 projetos realizados pela empresa entre julho de 2016 e junho de 2018. A Figura 3b apresenta a distribuição de frequências e a curva de frequência acumulada obtida a partir destes dados. Da mesma forma, se obtivermos neste histograma as estimativas de risco envolvidas em projetos de 160 horas e 184 horas, obteremos 52% e 25%. Ou seja, estes projetos se mostrariam mais arriscados e, dependendo da aversão ao risco da empresa, poderiam não ser aceitos, ou demandariam esforço adicional nas negociações com os clientes para ofertar projetos de 178 e 202 horas respectivamente.

A principal razão desta discrepância está população de projetos avaliados. Uma amostra de 181 projetos provê uma estimativa de risco associada ao esforço na execução de projetos muito aquém daquela obtida a partir de aproximadamente 10,000 projetos. É justamente neste ponto que reside uma das vantagens de se utilizar uma ferramenta de simulação: o con-

trole sobre o tempo simulado. Para esta empresa obter dados um volume expressivo de projetos e assim lhe propiciar estas análises, demandariam um horizonte temporal indisponível para a maioria das empresas.

V. DISCUSSÃO

Nesta seção, busca-se ressaltar e correlacionar estudos relacionados a proposta apresentada neste artigo, focando na discussão dos resultados apresentados na seção anterior. A modelagem de riscos tem como principal objetivo o fornecimento de *insights* para gestores em relação ao desempenho do sistema, incertezas do projeto e efeitos propagadores de mudanças [3]. O processo de análise de riscos para tomada de decisão deve ter por base a validação de um especialista na área [16]. No entanto, a discussão de modelos e ferramentas para serem utilizados como este propósito é válida e é isso que o modelo de simulação proposto neste artigo visa.

As simulações realizadas neste estudo direcionaram-se na estimação de riscos em uma empresa de desenvolvimento de aplicativos. O propósito de estimativa de riscos é fornecer ao gestor de projetos a possibilidade de utilizar suas práticas de gerenciamento de riscos e eventualmente prever alguma situação de perda ou atraso no projeto. Estimativas de risco em projetos tem sido estudadas por diversos autores, utilizando como balizadores níveis de complexidade [44].

Diversos modelos e *frameworks* são encontrados na literatura que trata deste assunto. O estudo de Khodakarami and Abdi [16] fornece um modelo que aplica redes Bayesianas para conduzir uma análise causal em variáveis críticas que influenciam o custo do projeto e fornecem resultados probabilísticos que podem melhorar as decisões.

O trabalho de Sarigiannidis and Chatzoglou [34] em gerenciamento de projetos de *software*, propõe um novo modelo conceitual sugerindo perspectivas e implicações gerenciais para o mercado e academia. O modelo baseia-se na determinação do impacto de construtos como as Características do Projeto, a Equipe de Gerenciamento de Risco do Projeto, as Abordagens de Identificação de Risco e a Qualidade do Projeto no nível do Risco do Projeto, associados

⁴Obtido a partir do arquivo texto gerado pelo *software* ARENA[®] com os tempos totais de execução de cada um dos projetos simulados e replicados das durações simuladas dos projetos e a curva de frequência acumulada a Figura 3b apresenta o histograma de frequências históricas, bem como sua curva de frequências acumuladas.

a avaliação do impacto do Risco do Projeto e do Risco de Desempenho Residual no desempenho final subjetivo e objetivo do projeto.

Neste sentido, os estudos anteriormente citados indicam que esforços de planejamento de gerenciamento de risco são eficazes quando o nível de risco do projeto é médio a alto. Como evidenciado em nossos resultados, optamos pela utilização de projetos de média criticidade nas simulações, o que indica a possibilidade deste tipo de avaliação prover resultados relevantes para a gestão de riscos.

Em projetos com baixos níveis de risco, o planejamento da gestão de risco pode ser ineficaz e desnecessário. Isso indica que os gerentes que supervisionam projetos de alto risco oportunamente investem mais planejamento e esforço na tentativa de identificar e planejar ações para tratar o risco [45].

O conjunto de simulações realizadas no presente artigo permitiu inferir a possibilidade de sucesso ou insucesso do projeto, baseando-se em dados históricos de colaboradores, com enfoque em seus indicadores de esforço. Neste contexto, reside o diferencial do presente estudo, que apresenta simulações baseadas em histórico, em horas de entregas dos colaboradores em projetos, uma variável que por vezes é desconsiderada devido à dificuldade que algumas empresas têm em capturar e armazenar estes dados.

Na comparação entre estudos já postos na literatura para gestores de projetos de *software* [15, 34, 45] o presente trabalho se apresenta de forma diferente, buscando como objetivo principal a proposição de uma abordagem estratégica que incorpore a exposição ao risco presente nas estimativas de esforço em projetos como um dos indicadores-chaves para tomada de decisão. Outros estudos, frequentemente, se limitam a oferecer técnicas de predição ou métodos teóricos para suporte ao gestor.

A partir dos resultados obtidos pela estratégia apresentada neste estudo pode-se analisar estimativas de esforço oferecidas para projetos sob a ótica da exposição ao risco. A Tabela II consolida um exemplo para categorização de projetos na Alfa33.

TABELA II
ESTIMATIVA DE ESFORÇO X EXPOSIÇÃO AO RISCO

Categoria	Esforço estimado	Exposição (risco)
Projeto de alto risco	menor que 184h	37%
Projeto de médio risco	entre 184 e 202	13%
Projetos de baixo risco	maior 202	2% à 3%

Estas métricas permitem ao gestor refletir sobre alternativas para sua equipe e para a organização, ao incorporar a exposição ao risco em suas análises, podendo privilegiar projetos em diferentes categorias e alocar recursos de forma mais assertiva, gerindo melhor os prazos e o relacionamento com o cliente final.

No entanto, as simulações em projetos podem ter outros objetivos. Comumente, a adoção de técnicas de simulação como a Monte Carlo é utilizada para estimar custo total do projeto[7]. A primeira técnica relatada para mitigar riscos em projetos, relacionada a cronogramas foi a desenvolvida por Henry Gantt em 1917, nominado atualmente como gráfico

de Gantt. O gráfico de Gantt apresenta algumas lacunas não preenchidas, trazendo desvantagens no gerenciamento de projetos mais complexos, pois sua estrutura não tem como foco mostrar a inter-relação das tarefas.

Em projetos complexos, muitas tarefas têm requisitos de precedência, ou seja, exigir que outras tarefas sejam finalizadas ou substancialmente concluídas antes de serem iniciadas [11]. Neste sentido, a abordagem de simulação apresentada neste estudo pode ser útil quando combinada ao gráfico de Gantt, devido à preocupação com o fluxo de tarefas, ou seja, desmistificando as inter-relações entre tarefas, tempo de espera e de execução de cada uma.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta implementação da simulação de eventos contínuos, aplicada ao aprimoramento das estimativas de esforço alocado a projetos de desenvolvimento de aplicativos móveis fez uso de uma fonte de dados da empresa que continha detalhes sobre 181 projetos de média complexidade.

Estes dados serviram de subsídio para a modelagem do processo de planejamento e execução de projetos desta empresa e permitiram uma centena de replicações com a simulação de cenários com 100 projetos sendo criados.

Os resultados obtidos atenderam a demanda principal desta produção, a saber: oferecer uma sistemática para mitigar o risco associado ao fornecimento de estimativas de esforço (tempo) para projetos em fase de orçamento. A metodologia apresentada, apresenta o risco "tomado" associado a cada estimativa de esforço selecionada e isso pode atuar diretamente sobre o resultado financeiro obtido nos contratos.

Esta pesquisa apresenta alguns limites, dentre eles a dificuldade em se generalizar os resultados aqui obtidos, os dados da Alfa33 servem apenas para os projetos desta empresa. Além disso, apenas projetos de média complexidade foram analisados neste momento e isso representa uma fração dos projetos da empresa. Não obstante, fatores estratégicos, que podem influenciar nas estimativas, não foram considerados nesta pesquisa. Outro ponto em descoberto está na validação dos resultados obtidos, o processo está em andamento e até o momento não há dados conclusivos sobre a eficácia deste modelo.

Algumas sugestões para trabalhos futuros desta pesquisa incluem estudos comparativos entre empresas deste segmento, replicar este estudo em empresas e outros segmentos, aprimorar a estratégia proposta de simulação para atender a cenários de aplicação de metodologias ágeis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) e ao FSG - Centro Universitário pelo apoio ao desenvolvimento desse trabalho. Os autores reconhecem especialmente o apoio

do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPGCA) e do Laboratório de Computação Móvel (Mobilab) da Unisinos.

REFERÊNCIAS

- [1] Abdel-Hamid, T. K. and Madnick, S. E. (1991). *Software project dynamics: an integrated approach*, volume 1. Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ.
- [2] Alencar, T., Cortés, M., Veras, N., and Magno, L. (2018). An agent-oriented approach for assisting risk management in software projects. *Anais do Computer on the Beach*, pages 791–800.
- [3] Aven, T. (2012). *Foundations of risk analysis*. John Wiley & Sons.
- [4] Barros-Justo, J. L., Martinez-Araujo, N., and González-García, A. (2018). Software reuse and continuous software development: A systematic mapping study. *IEEE Latin America Transactions*, 16(5):1539 – 1546.
- [5] Bruni, M., Pugliese, L. D. P., Beraldi, P., and Guerriero, F. (2018). A computational study of exact approaches for the adjustable robust resource-constrained project scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 99:178 – 190.
- [6] Chapman, C. and Ward, S. (2003). *Project risk management: processes, techniques, and insights*. Wiley.
- [7] Chapman, C. and Ward, S. (2011). *How to manage project opportunity and risk: Why uncertainty management can be a much better approach than risk management*. John Wiley & Sons.
- [8] Chinbat, U. and Takakuwa, S. (2009). Using simulation analysis for mining project risk management. pages 2612–2623.
- [9] Dantas, A. R., de Oliveira Barros, M., and Werner, C. M. L. (2004). A simulation-based game for project management experiential learning. In *SEKE*, volume 19, page 24.
- [10] Gachet, A. and Haettenschwiler, P. (2003). A jini-based software framework for developing distributed cooperative decision support systems. *Software: Practice and Experience*, 33(3):221–258.
- [11] Galway, L. (2004). Quantitative risk analysis for project management. *A Critical Review, WR-112-RC*, http://www.rand.org/pubs/working_papers/2004/RAND_WR112.pdf.
- [12] Houston, D. X., Mackulak, G. T., and Collofello, J. S. (2001). Stochastic simulation of risk factor potential effects for software development risk management. *Journal of Systems and Software*, 59(3):247–257.
- [13] Institute, P. M. (2017). *A guide to the project management body of knowledge - PMBOK*, volume 6. Project Management Institute: Newtown Square, PA.
- [14] Kellner, M. I., Madachy, R. J., and Raffo, D. M. (1999). Software process simulation modeling: why? what? how? *Journal of Systems and Software*, 46(2-3):91–105.
- [15] Kezner, H. (1992). A systems approach to planning scheduling and controlling. *International Journal of Project Management*, 12:316–321.
- [16] Khodakarami, V. and Abdi, A. (2014). Project cost risk analysis: A bayesian networks approach for modeling dependencies between cost items. *International Journal of Project Management*, 32(7):1233–1245.
- [17] Korecky, M. and Trkovsky, V. (2009). Risk analysis and management of projects with high innovation content. pages 1330–1337.
- [18] Kurihara, K. and Nishiuchi, N. (2002). Efficient monte carlo simulation method of gert-type network for project management. *Computers & Industrial Engineering*, 42(2-4):521–531.
- [19] Law, A. and Kelton, W. (2000). *Simulation modeling and analysis*. McGraw-Hill series in industrial engineering and management science. McGraw-Hill.
- [20] Leonard, D., Parsons, J., and Cates, G. (2014). Using discrete event simulation to model fluid commodity use by the space launch system. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014*, pages 2954–2965.
- [21] Mahmood, S., Anwer, S., Niazi, M., Alshayeb, M., and Richardson, I. (2017). Key factors that influence task allocation in global software development. *Information and Software Technology*, 91:102 – 122.
- [22] Mályusz, L. and Varga, A. (2018). An estimation of the learning curve effect on project duration with monte carlo simulation. *Periodica Polytechnica Architecture*, 49(1):66–71.
- [23] Marinho, M., Sampaio, S., and Moura, H. (2018). Managing uncertainty in software projects. *Innovations in Systems and Software Engineering*, 14(3):157–181.
- [24] Martin, R. H. and Raffo, D. (2000). A model of the software development process using both continuous and discrete models. *Software Process: Improvement and Practice*, 5(2-3):147–157.
- [25] Martínez, J., Palacio, R., and Vizcaíno, A. (2018). Supporting expertise location in coding phase of software development process. *IEEE Latin America Transactions*, 16(7):2085 – 2091.
- [26] McCabe, B. (2003). Construction engineering and project management iii: monte carlo simulation for schedule risks. In *Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation*, pages 1561–1565. Winter Simulation Conference.
- [27] McCreery, J. K. (2003). Assessing the value of a project management simulation training exercise. *International Journal of Project Management*, 21(4):233–242.
- [28] Nakano, M. K., Almeida, R., and Steiner, M. T. A. (2018). Automotive industry line board optimization through operations research techniques. *IEEE Latin America Transactions*, 16(2):585 – 591.
- [29] Qi, L. (2018). Project duration contract design problem under uncertain information. *Soft Computing*, 22(17):5593–5602.
- [30] Rahman, A., Sarker, S., and Islam, M. T. (2018). Simulating cutting line of a furniture industry. In *2018 International Conference on Production and Operations Management Society (POMS)*, pages 1–7.
- [31] Rasnick, E. and Chatfield, D. C. (2017). Information blackouts in a multi-echelon supply chain simulation. In *2017 Winter Simulation Conference (WSC)*, pages 3440–3446.
- [32] Roberts, E. B. (1959). Simulation techniques for understanding r-and-d management. In *PROCEEDINGS OF THE*

INSTITUTE OF RADIO ENGINEERS, volume 47, pages 461–461.

- [33] Santos, L. P. and Ferreira, M. G. V. (2018). Safety critical software effort estimation using cocomo ii: A case study in aeronautical industry. *IEEE Latin America Transactions*, 16(7):2069 – 2078.
- [34] Sarigiannidis, L. and Chatzoglou, P. D. (2011). Software development project risk management: A new conceptual framework. *JSEA*, 4(5):293–305.
- [35] Sarro, F., Ferrucci, F., Harman, M., Manna, A., and Ren, J. (2017). Adaptive multi-objective evolutionary algorithms for overtime planning in software projects. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 43(10):898–917.
- [36] Silva, F. A. R. (2018). Analytical intelligence in processes: Data science for business. *IEEE Latin America Transactions*, 16(8):2240 – 2247.
- [37] Tvedt, J. D. (1996). An extensible model for evaluating the impact of process improvements on software development cycle time.
- [38] Velásquez, J. A. S. and Isaza, M. C. A. (2017). Simulating a ready-mix concrete plants network using multimethod approach. In *2017 Winter Simulation Conference (WSC)*, pages 2405–2412.
- [39] Waledzik, K. and Mandziuk, J. (2018). Applying hybrid monte carlo tree search methods to risk-aware project scheduling problem. *Information Sciences*, 460-461:450 – 468.
- [40] Yuan, J., Li, X., Chen, K., and Skibniewski, M. J. (2018). Modelling residual value risk through ontology to address vulnerability of ppp project system. *Advanced Engineering Informatics*, 38:776 – 793.
- [41] Zevgolis, I. E., Deliveris, A. V., and Koukouzas, N. C. (2018). Probabilistic design optimization and simplified geotechnical risk analysis for large open pit excavations. *Computers and Geotechnics*, 103:153 – 164.
- [42] Zghair, H. and Ali, A. (2017). Simulation analysis of processing complexity and production variety in automated manufacturing system. In *2017 Winter Simulation Conference (WSC)*, pages 4485–4487.
- [43] Zghair, H., Ali, A., and Ali, I. (2017). Flexible processing mix strategy for complexity of automated manufacturing system. In *2017 Winter Simulation Conference (WSC)*, pages 4459–4461.
- [44] Zwikael, O. and Ahn, M. (2011). The effectiveness of risk management: an analysis of project risk planning across industries and countries. *Risk Analysis: An International Journal*, 31(1):25–37.
- [45] Zwikael, O. and Sadeh, A. (2007). Planning effort as an effective risk management tool. *Journal of Operations Management*, 25(4):755–767.



Joneval Zanella Gomes Graduado em Tecnologia em Automatização Industrial (UCS, 1998), possui especialização em negócios para Internet (ULBRA, 2002) e especialização em Engenharia da Produção (FSG, 2010). Mestrado em Administração (2014, PPGA/UFRGS). Atualmente está cursando o doutorado em Computação Aplicada na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (PPGCA/UNISINOS). É coordenador de sistemas na empresa Marcopolo S/A. Como docente, atua no curso de Administração do FSG - Centro Universitário (superior e pós) nas áreas de Sistemas de Informação, Gestão de Projetos e Simulação de Processos e Sistemas, e no Centro de Ensino Empresarial - CEEM, conveniada FGV onde atua como professor executivo na Pós-Graduação em Administração (POSADM) em disciplinas de Gestão de Projetos, Jogos de Negócio e TCC.



João Luis Zeni Montenegro Doutorando do programa de Computação aplicada (UNISINOS-bolsista projeto Uhospital/SIEMENS), Mestre em Administração (Gestão Organizacional) pela Faculdade Meridional (IMED) e possui graduação em Sistemas de Informação pela Faculdade Meridional (IMED). Possui experiência na área de administração com foco em Marketing e Gestão Estratégica e na área de Tecnologia com foco em Inteligência Artificial. Atua como Professor na instituição CESURG-RS e Pesquisador na área de Inteligência Artificial com foco em Agentes inteligentes na Saúde e Ciência de dados na Saúde pelo projeto Uhospital.



José Vicente Canto dos Santos Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (1990), mestrado em Engenharia Elétrica, área de Automação, pela Universidade Estadual de Campinas (1993) e doutorado em Engenharia Elétrica, área de Automação pela Universidade Estadual de Campinas (1998). Atualmente é professor adjunto no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Tem atuado como coordenador e pesquisador em projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P, D & I) junto a diversas empresas do setor elétrico e seu principal interesse, atualmente, é a aplicação de técnicas de otimização e inteligência computacional a sistemas produtivos, destacando-se Sistemas de Energia Elétrica.



Jorge Luis Victória Barbosa Possui graduação em Informática (1990) e Engenharia Elétrica (1991) pela Universidade Católica de Pelotas (UCPel). Ele obteve especialização em Engenharia de Software (UCPel, 1993) e concluiu mestrado e doutorado em ciência da computação na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 1996 e 2001). Em 2011 realizou pós-doutorado na Sungkyunkwan University (SKKU, Suwon, Coréia do Sul). Atualmente é Professor Titular II na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). Ele atua como professor permanente no Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada (PPGCA) e como professor colaborador no Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE). Jorge coordena o Laboratório de Computação Móvel e Ubíqua (MobiLab/Unisinos) e atua como Bolsista de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora (bolsa DT - atualmente no Nível IC) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Destacam-se como suas principais áreas de atuação: Computação Móvel e Ubíqua, Histórico de Contextos, Gerenciamento de Perfis, Análise de Similaridade de Históricos de Contextos, Predição de Contextos, Jogos de Computadores, Educação Ubíqua, Saúde Ubíqua, Acessibilidade Ubíqua, Agricultura Ubíqua e Gerenciamento Ubíquo de Projetos.



Cristiano André da Costa É professor Titular da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Unisinos, e Bolsista de Produtividade do CNPq, atuando no ensino superior desde 1997. Na Unisinos é diretor do SOFTWARELAB, Núcleo de Excelência em Inovação de Software. É pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PGCA) na linha de pesquisa de Internet das Coisas e Aplicações Distribuídas. Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade Católica de Pelotas - UCPEL (1994), mestrado em Ciência

da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (1997) e doutorado em Ciência da Computação também pela UFRGS (2008). Em 2016, realizou Pós-doutorado em Engenharia Biomédica na Friedrich-Alexander University Erlangen-Nürnberg (FAU) na Alemanha. Atua com foco em pesquisas aplicadas, tecnológicas e de inovação, muitas delas em parcerias com empresas. Tem experiência na área de sistemas distribuídos, com ênfase em computação móvel e ubíqua. Atua principalmente nos seguintes temas: computação ubíqua / pervasiva, computação móvel, ciência de contexto, sistemas distribuídos, computação em nuvem, Internet das Coisas, processamento de alto desempenho e aplicações na área da saúde. Cristiano é membro senior da IEEE, fazendo parte da Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS).