

Abordagem baseada em Agentes para o Monitoramento e Controle do Trabalho e Gestão Integrada de Mudanças

Nécio L. Veras ¹
Mariela I. Cortés ²
Anderson C. P. Queiroz ²
Leandro L. C. de Souza ³

Data de submissão: 28.01.2015

Data de aceitação: 24.04.2015

Resumo: As atividades de monitoramento e controle são cruciais para regular o progresso dos trabalhos do projeto de forma a atender os objetivos definidos no plano de gerenciamento. Entretanto, mudanças são inevitáveis e podem surgir a qualquer momento durante o desenvolvimento influenciando na execução do plano originalmente traçado e colocando em risco o sucesso do projeto. Este artigo apresenta uma abordagem baseada na tecnologia de agentes inteligentes para o monitoramento e controle de projetos. A abordagem contempla o suporte à gestão automatizada das solicitações de mudanças de forma a fornecer uma visão integradora e consistente do andamento do projeto e auxiliar gestores na tomada de decisão durante a execução dos trabalhos.

Abstract: The activities of monitoring and control are crucial to regulate the work progress of the project in order to attend the goals defined in the management plan. However, changes are inevitable and may arise in some moment during the development, influencing in the performance of the initial planning and impact in the project success. This paper presents an agent-based approach for the monitoring and control of projects. The approach includes the support for automated management of changes so that provides an integrated and consolidated vision of the project progress and to help managers in decision-making during the execution of the tasks.

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
Rodovia CE-075, s/n - Aeroporto – Tianguá - Ceará
{necio.veras@ifce.edu.br}

²Universidade Estadual do Ceará (UECE) - Fortaleza, CE - Brasil
{mariela@larces.uece.br, andersoncpdq@gmail.com}

³Instituto Federal de Educação do Maranhão (IFMA) - Imperatriz, MA – Brasil
{leandro.leocadio@ifma.edu.br}

1 Introdução

A construção de software de computador é um empreendimento complexo, particularmente quando envolve muitas pessoas trabalhando durante um período de tempo relativamente longo. Em virtude disso uma forma de gerir essa complexidade está na elaboração de um planejamento efetivo dos diversos aspectos relacionados ao projeto, tais como: escopo, custo e tempo, a partir do qual possa ser realizado o monitoramento e controle das atividades de projeto [1].

Mudanças são inevitáveis e a demanda pode surgir a qualquer momento [1], inclusive durante o desenvolvimento. Comumente, essas solicitações ocorrem devido a mudanças no negócio ou pela carência de uma completa especificação dos requisitos. Esta situação pode colocar em risco o plano de projeto traçado na fase de planejamento e pode levar ao insucesso do projeto. Uma solicitação de mudança pode surgir também como uma solução a desvios detectados entre o planejamento e a execução, a partir da análise realizada durante o monitoramento dos trabalhos de projeto.

Neste cenário de desenvolvimento altamente dinâmico fica evidente a dependência entre os processos de monitoramento e controle dos trabalhos, onde ações de controle derivam normalmente em solicitações de mudanças [2]. Por outro lado, mudanças aprovadas devem ser incorporadas na linha de base [2], cuja atualização deve ser levada em conta no processo de monitoramento. Em geral, as atividades de monitorar e controlar custo, prazo e mudanças demandam um grande volume de informações e a utilização de ferramentas de suporte se torna indispensável. Assim, o efetivo controle para o sucesso de projetos requer de métodos e técnicas que possibilitem o acompanhamento e análise contínuo dos trabalhos do projeto de forma integrada e proativa monitorando os diversos fatores que podem influenciar no cumprimento dos objetivos do projeto, assim como também auxiliar gestores na tomada de decisão. O presente trabalho propõe uma abordagem proativa e automatizada, baseada na união e atuação de três agentes inteligentes, para dar apoio ao processo de monitoramento e controle das atividades do projeto em relação a tempo e custo de forma integrada com a gestão de mudanças.

Para tanto, o artigo está estruturado como segue. A Seção 2 apresenta o referencial teórico fornecendo um *overview* sobre os processos de monitoramento e controle do desempenho e o controle de mudanças. A Seção 3 discute os trabalhos relacionados. A abordagem proposta para o suporte proativo destes processos e a descrição dos agentes envolvidos na solução é apresentada na Seção 4. A Seção 5 ilustra um estudo de caso onde uma simulação com dois cenários é apresentada. Por último, conclusões e trabalhos futuros são descritos na Seção 6.

2 Referencial Teórico

2.1 Processo de Monitoramento e Controle

Os processos de monitoramento e controle são responsáveis por acompanhar, revisar e regular o progresso e o desempenho do projeto, identificar todas as áreas nas quais serão necessárias mudanças no plano de execução do projeto e recomendar sua aplicação [2]. O desempenho do projeto deve ser monitorado e medido regularmente e desvios são ajustados evitando que os objetivos do projeto sejam colocados em risco [3]. O trabalho do projeto é monitorado e controlado a partir do acompanhamento das áreas-chave: escopo, custo e tempo.

O monitoramento consiste em uma análise contínua da aderência do projeto aos planos, realizada em intervalos predeterminados e um projeto é mantido sob controle a partir da determinação de ações corretivas ou preventivas, ou o replanejamento com objetivo de resolver questões de desempenho em relação aos eventuais desvios detectados [4].

O guia PMBoK sugere algumas técnicas e métodos para monitorar e controlar as atividades do projeto, entre elas: a Técnica do Valor Agregado (TVA) e o Método do Caminho Crítico (CPM). A TVA é uma técnica de gerenciamento utilizada, que compara as informações planejadas (linhas de base) e realizadas de escopo, custo e tempo para medir o desempenho das atividades do projeto e, a partir dos indicadores obtidos, estabelecer uma tendência até seu término [5]. O método do caminho crítico [6] é utilizado para determinar o caminho da rede de atividades interligadas onde o tempo mais longo é o tempo total operacional que determina a duração do projeto.

2.2 Processo de Realizar o Controle Integrado de Mudanças

A ocorrência de mudanças durante a execução do trabalho em relação ao que foi planejado para o projeto é bastante comum e esperada [2]. Normalmente mudanças estão diretamente relacionadas aos aspectos de escopo, cronograma e custo estabelecidos na etapa do planejamento do projeto. Grande parte das mudanças é oriunda de fatores externos, entretanto erros de dimensionamento na especificação do escopo original nas estimativas de orçamentação e de prazos de realização, somados à avaliação objetiva de que determinada mudança poderá agregar valor ao produto, também podem gerar mudanças [3].

Neste contexto, um dos fatores críticos para o sucesso dos projetos é uma condução estruturada do processo de solicitação das mudanças, onde a utilização de um procedimento formal previamente definido e documentado é uma importante ferramenta de controle. A necessidade de mudanças pode ser identificada por qualquer parte interessada envolvida no projeto, as quais devem ser registradas, descrevendo o tipo da mudança e os impactos causados, caso seja aprovada. Vale ressaltar que as mudanças requerem revisões nos documentos

gerados no planejamento do projeto, caso haja aprovação da mudança [2].

3 Trabalhos Relacionados

Vários trabalhos propõem o uso de agentes inteligentes para o gerenciamento de diferentes aspectos no desenvolvimento de projetos. Nesta seção são apresentados trabalhos de pesquisa que utilizam agentes como abordagem para gerenciar o monitoramento e controle do andamento de projetos.

Em [7] é apresentada a ferramenta Software Project Associate (SPA), que consiste em um sistema multiagente baseado em métricas do projeto, tais como produtividade e esforço. O objetivo da ferramenta é acompanhar o andamento do projeto de software para garantir a conformidade com o planejamento de metas para a realização das atividades, alertando gerentes quando não são atingidas, porém nenhuma solução para a correção dos desvios é sugerida pela ferramenta.

O modelo Software Project Management supported by Software Agents (SPMSA) [8] consiste em um framework genérico, baseado em agentes de software, projetado para suportar vários aspectos do gerenciamento do projeto de software em um ambiente distribuído. O SPMSA prevê na sua estrutura um agente de monitoramento, porém se limita no acompanhamento de tarefas e fases do projeto, sem levar em consideração o aspecto de custo. É previsto a notificação dos stakeholders, no entanto nenhum tipo de correção de desvios em relação à linha de base do projeto é apresentada.

Por último, o Parametric Project Monitoring and Control (PPMC) consiste de um modelo de estimativa proprietário fundamentado na técnica do GVA [9], cujo objetivo é estender o escopo da estimativa de projetos de desenvolvimento de software estabelecendo uma iteração na condução das atividades de gerenciamento. Esse modelo trabalha apenas com ações preventivas e com isso, não garante que todos os desvios possam ser inibidos. Cabe ressaltar que nenhuma das ferramentas de gestão citadas contempla na sua solução aspectos relacionados à gestão de mudanças, o que pode levar a uma análise incompleta e parcial do andamento do projeto durante a sua evolução.

O presente trabalho diferencia-se dos demais pois consegue, por meio de uma abordagem baseada na união e atuação de três agentes, auxiliar no monitoramento e controle das atividades do projeto em relação a custo e tempo, sugerindo ações preventivas e/ou corretivas durante a detecção de desvios na linha de base gerada no planejamento. Adicionalmente, a abordagem contempla mecanismos para a gestão integrada de mudanças onde é possível prever impactos na linha de base no momento de uma solicitação de mudanças e, com isso, emitir alertas ao gerente.

4 Abordagem Proposta

A abordagem proposta objetiva apoiar o gerente no processo de monitoramento e controle contínuo das atividades de projeto de forma integrada com a gestão das mudanças. A solução é baseada na tecnologia de agentes, prevendo, observando e mensurando o trabalho do projeto de forma a sugerir soluções ao gerente. As soluções propostas podem auxiliar o gerente no processo de tomada de decisão em relação às mudanças requeridas para o controle do projeto. A solução envolve a união de três agentes inteligentes capazes de colaborarem entre si e com o gerente do projeto usando ambientes compartilhados baseados em artefatos [10]. A Figura 1 visa ilustrar a interação entre os agentes e o gerente de projeto e, para tanto, usou-se uma notação livre que mostra as direções e os contextos das trocas de mensagens entre os elementos envolvidos na proposta.

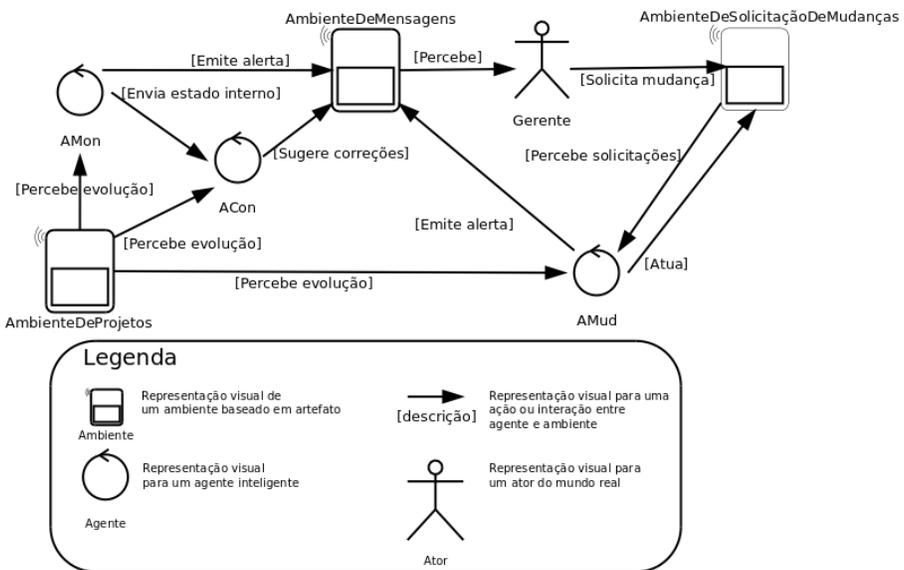


Figura 1. Interação entre os agentes envolvidos e o gerente.

Os agentes detectam alterações no ambiente de projeto no qual estão inseridos, raciocinam sobre essas alterações e agem de forma proativa, selecionando uma ação que envia uma mensagem de alerta ou sugere ações de forma a reduzir os efeitos negativos de possíveis desvios detectados [11] (relativos a custo e tempo) durante a execução de um projeto. A partir da avaliação do gerente, uma ação sugerida pode se tornar uma solicitação de mudança, cuja evolução ao longo do tempo em relação ao impacto da mesma será atualizado e monitorado pelo agente responsável.

O compartilhamento e troca de informações entre os agentes e o gerente consiste de uma atividade dinâmica e constante que envolve as (i) informações relativas ao planejamento inicial e trabalho efetivamente realizado, cedidas pelo gerente de projeto, (ii) análise da situação corrente em relação à desejada, diagnosticada pelo agente monitor, (iii) informações de solicitações de mudanças registradas pelo gerente e demais interessados no projeto, (iv) análise da situação das solicitações de mudança pelo agente de mudança, e (v) o tratamento de desvios, realizado pelo agente de controle (ACon).

4.1 O Agente de Mudanças (AMud)

O agente AMud [12] é o responsável pelo monitoramento das solicitações de mudanças registradas no ambiente de solicitação de mudanças, determinando e monitorando a prioridade (calculada através da técnica de matriz GUT - gravidade, urgência e tendência - [13]) da mudança no projeto. Na abordagem proposta, a gravidade representa o impacto da mudança referente ao custo (IC) e ao tempo (IT). A urgência (U) representa o tempo disponível para a implantação da mudança. A prioridade é obtida através da relação entre estas três variáveis associadas à mudança, sendo representada pela fórmula: $Prioridade(P) = IC \times IT \times U$. A partir da avaliação da prioridade da mudança solicitada o agente informa o gerente sobre a viabilidade da incorporação da mudança nos trabalhos do projeto.

Para tanto, o AMud foi projetado como um agente reativo simples com estado interno cujas regras de condição-ação determinam o estado no qual o agente irá emitir avisos aos interessados no projeto. A Tabela 1 descreve as informações sobre o funcionamento do agente. Mais detalhes sobre os indicadores usados e a concepção do agente podem ser percebidos em [12].

4.2 O Agente de Monitoramento (AMon)

O funcionamento do agente AMon [14] pressupõe a existência de um plano inicial. Em sua estrutura, a função ver representa os sensores do agente que percebe as informações a respeito dos valores das variáveis associadas às atividades do projeto e mapeia estas informações em sêxtupla (T, duracaoAtividade, custoAtividade, planejadaCompleta, realCompleta, custoRealAtiv).

O agente também mantém internamente informações relacionadas com a evolução do ambiente e das atividades do projeto, denominado estado interno. Esse estado é igualmente representado pela sêxtupla (VP, VA, IDP, VDP, IDC, VC), cujos valores identificam ou não uma insatisfação entre o estado corrente de uma atividade em andamento no projeto e seu estado desejado, com base no GVA. VP representa o valor planejado, VA o valor agregado, IDP o índice de desempenho de prazo, VDP a variação de prazo, IDC o índice de desempenho de custo e VC a variação de custo. Os valores dessas variáveis compõem as informações

Tabela 1. Estado interno, Ações e Percepções do AMud.

Estado Interno AMud	impacto no tempo (IT), impacto no custo (IC), urgência (U) e prioridade (P) da mudança
Percepções do Ambiente de Projetos	projeto (P), instante (K) e atividades(A)
Ações AMud (regras condição-ação)	<p>1. se (IC = 5) então faça (mensagem('Impacto no custo é muito alto. Procure o Sponsor do projeto para negociar os custos'))</p> <p>2. se (IC = 4) então faça (mensagem('Impacto no custo é alto. Procure o Sponsor do projeto para negociar os custos'))</p> <p>3. se (IT = 5) então faça (mensagem('Impacto no tempo é muito alto. Verifique a possibilidade de paralelizar atividades'))</p> <p>4. se (IT = 4) então faça (mensagem('Impacto no tempo é alto. Verifique a possibilidade de paralelizar atividades'))</p> <p>5. se (U = 5) então faça (mensagem('A urgência da mudança é muito alta, em breve se tornará obsoleta.'))</p> <p>6. se (U = 4) então faça (mensagem('A urgência da mudança é alta, em breve se tornará obsoleta.'))</p>
Percepções do Ambiente de Solicitação de Mudanças	tipo de mudança (acréscimo/decréscimo no custo ou tempo), atividade, valor da alteração e estado da solicitação (solicitada, aprovada ou rejeitada)

correntes no estado interno e permitem que a função ação do agente determine a situação real do trabalho do projeto quanto ao orçamento e cronograma. Para isso, são incorporados um conjunto de regras condição-ação implementadas para determinar o quão à frente ou atrás do cronograma e/ou orçamento o projeto se encontra. A partir dos indicadores obtidos, o AMon alerta o gerente sobre a situação atual do projeto quanto ao cronograma, orçamento, e eventuais desvios detectados.

O mecanismo de seleção de ação do AMon foi concebido para indicar como solução do problema de monitoramento em uma determinada interação. Assim, todas as mensagens são oriundas das regras cujos antecedentes descrevem condições avaliadas em cada interação que o agente mantém com o ambiente de projeto. Na Tabela 2 é possível visualizar as informações relacionadas associadas ao AMon.

Tabela 2. Estado interno, Ações e Percepções do AMon.

Estado Interno AMon	VP, VA, IDP, VDP, IDC, VC
<p>Ações AMon (regras condição-ação)</p>	<p>1. se ($IDP = 1.0$) então faça (mensagem('Atividade está dentro do cronograma')) senão se ($IDP > 1$) então faça (mensagem ('Atividade está adiantada do cronograma')) senão faça (mensagem ('Atividade está atrasada no cronograma'))</p> <p>2. se ($VDP = 0.0$) então faça (mensagem('Atividade está dentro do cronograma')) senão se ($VDP > 0$) então faça (mensagem ('Atividade está VDP reais a frente do cronograma')) senão faça (mensagem ('Atividade está VDP reais atrás do cronograma'))</p> <p>3. se ($IDC = 1.0$) então faça (mensagem('Atividade está dentro do orçamento')) senão se ($IDC > 1$) então faça (mensagem ('Atividade está abaixo do orçamento')) senão faça (mensagem ('Atividade está acima do orçamento'))</p> <p>4. se ($VC = 0.0$) então faça (mensagem('Atividade está dentro do orçamento')) senão se ($VC > 0$) então faça (mensagem ('Atividade está VC reais abaixo do orçamento')) senão faça (mensagem ('Atividade está VC reais acima do orçamento'))</p>
<p>Percepções do Ambiente</p>	<p>idAtividade, duraçãoAtividade, custoAtividade, Tes, Tef, Tlf, Tls, R e atividades predecessoras e sucessoras da atividade corrente</p>

4.3 O Agente de Controle (ACon)

A partir das informações advindas do AMon, o ACon [15] reage de acordo com o grau de variação entre o planejamento e o desempenho, sugerindo ações corretivas/preventivas para minimizar o efeito dos desvios detectados. O agente ACon considera em seu funcionamento um plano inicial a partir do qual são identificados alguns atributos das atividades: identificação (idAtividade), duração (duracaoAtividade) e o custo (custoAtividade), atividades predecessoras e sucessoras, mantendo em seu estado interno todo o diagrama de rede de atividades e o caminho crítico [16]. À medida que novas estimativas são geradas um novo caminho crítico é calculado e seu estado interno atualizado com base nos tempos das atividades contempladas no plano inicial.

O estado interno contém dados sobre as atividades do projeto com base na formulação do valor agregado. O agente armazena: ETcusto (representa a estimativa no término

relacionado a custo), EPT_{custo} (a estimativa para terminar relacionado a custo), VAF_{custo} (a variação do custo na conclusão da atividade), $PercVAF_{custo}$ (o percentual dessa variação), $IDPT$ (o índice de desempenho para terminar a atividade), ET_{tempo} (a estimativa no término relacionado a tempo), EPT_{tempo} (a estimativa para terminar relacionado a tempo), VAF_{tempo} (a variação ao final da atividade) e $PercVAF_{tempo}$ (o percentual dessa variação) [15]. Estes valores permitem ao agente estimar custo e tempo ao final do desenvolvimento das atividades considerando o desempenho atual, além de informar a variação ao término das atividades em relação às novas estimativas.

O agente considera as atividades em andamento e as alternativas para o tratamento de desvios negativos detectados e, dentre as alternativas descritas em [16], têm-se: compressão (hora-extra), paralelização, compensação de orçamento em cronograma, compensação de custo entre atividades e compensação de tempo entre atividades. A Tabela 3 mostra os elementos usados pelo agente para a seleção de suas ações.

Tabela 3. Estado interno, Ações e Percepções do ACon.

Estado Interno ACon	ET _{custo} , EPT _{custo} , VAF _{custo} , PercVAF _{custo} , IDPT, ET _{tempo} , EPT _{tempo} , VAF _{tempo} , PercVAF _{tempo}
<p>Ações ACon (regras condição-ação)</p>	<p>1. se ($IDP > 1.0 \ \&\& \ VDP > 0.0$ && $IDC < 1.0 \ \&\& \ VC < 0.0$) então faça Ação 01</p> <p>2. se ($IDP < 1.0 \ \&\& \ VDP < 0.0 \ \&\& \ IDC > 1.0 \ \&\& \ VC > 0.0$) então faça Ação 02</p> <p>3. se ($IDP < 1.0 \ \&\& \ VDP < 0.0 \ \&\& \ IDC < 1.0 \ \&\& \ VC < 0.0$) então faça Ação 03</p> <p>4. se ($IDP = 1.0 \ \&\& \ VDP = 0.0 \ \&\& \ IDC < 1.0 \ \&\& \ VC < 0.0$) então faça Ação 04</p> <p>5. se ($VAF_{custoProjeto} > 0 \ \&\& \ VAF_{tempoProjeto} < 0$) então faça Ação 05</p> <p>6. se ($VAF_{custoProjeto} < 0 \ \&\& \ VAF_{tempoProjeto} > 0$) então faça Ação 06</p> <p>7. se ($VAF_{custoProjeto} < 0 \ \&\& \ VAF_{tempoProjeto} < 0$) então faça Ação 07</p> <p>8. se ($VAF_{custoProjeto} < 0 \ \&\& \ VAF_{tempoProjeto} = 0$) então faça Ação 08</p> <p>9. se ($VAF_{custoProjeto} = 0 \ \&\& \ VAF_{tempoProjeto} < 0$) então faça Ação 09</p>
<p>Percepções do Ambiente</p>	<p>idAtividade, duraçãoAtividade, custoAtividade, Tes, Tef, Tlf, Tls, R e atividades predecessoras e sucessoras da atividade corrente</p>

O subconjunto das ações do agente de (1) a (4) contém regras cujas condições no an-

tecedente são estabelecidas considerando apenas as informações correntes sobre a execução de atividades individuais, enquanto que as ações determinam as correções/prevenções propostas para atividades individuais e os efeitos destas ações, obtidos a partir de simulações realizadas pelo agente no estado interno. A condição na primeira regra, por exemplo, permite detectar situações do tipo: adiantada no cronograma e acima do orçamento na execução de uma atividade. Neste caso, é sugerido como ação preventiva aumentar o desempenho em um valor X para concluir dentro do orçamento previsto para a atividade. Como ação corretiva, sugere-se uma compensação de custos entre as duas atividades sucessoras (fora do caminho crítico) com maior folga. A partir da correção desse desvio, novas estimativas de custos são calculadas pelo ACon.

Já no subconjunto de (5) a (9) as condições nas regras consideram as informações de todas as atividades em execução. Este novo subconjunto de regras condição-ação considera a correção e prevenção de desvios quando tratados sobre todas as atividades correntes em execução. A condição na regra (6), por exemplo, permite detectar situações em que ocorrem desvios negativos de recursos (orçamento, por exemplo) e um atraso no tempo total do projeto [16].

5 Experimentos a partir da integração dos agentes AMud, AMon e ACon

Os ambientes de execução dos agentes utilizados no presente trabalho objetivam simular um ambiente real de projeto. O artefato Ambiente de Projetos contempla um projeto cujas atividades possuem as mesmas configurações existentes em [15]. Já o Ambiente de Solicitação de Mudanças (ambos na Figura 1), visa imitar um mecanismo de registro de solicitações para mudanças relacionadas às atividades do projeto, tais como, acréscimo/decrécimo no custo ou no tempo, como em [12].

Para a realização da simulação foi criado um agente adicional que assume a função do Gerente. O agente Gerente recebe mensagens oriundas dos três agentes da abordagem e, entre elas, alertas e sugestões para aplicar correções mediante a detecção de desvios na linha de base. Os agentes foram desenvolvidos em AgentSpeak (linguagem projetada e inspirada para programação de agentes com arquitetura BDI), mais especificamente, em uma versão estendida da linguagem AgentSpeak, que fornece recursos para o desenvolvimento de sistemas multiagentes, chamada Jason [17]. Os ambientes foram criados usando a tecnologia Cartago (Common ARtifact infrastructure for AGent Open environments) [10], um framework e infraestrutura para programação e execução de ambientes baseados em artefatos. A partir das configurações ambientais e do agente Gerente fez-se um recorte nos cenários simulados e nos resultados elencados, os quais seguem nos subtópicos seguintes.

5.1 Cenário I: Mudanças e eventos em atividades separadas

Neste cenário, o modelo de evolução do Ambiente de Projetos foi programado para evoluir idealmente até o quarto momento. Entre o quinto e o sétimo momento a atividade “A” é acelerada para que seja possível terminar antes do prazo planejado (adiantado no cronograma), no entanto, consumindo mais recursos do que havia sido estabelecido no planejamento (acima do orçamento). Ao final do sétimo momento, a atividade é finalizada com uma economia de tempo de três momentos, mas com um acréscimo de setenta unidades de moeda no custo estim

```

-----Log do AMon-----
| Instante k: 50 |
Atividade: "E"
Tempo estimado: 25
Tempo atual: 33
Tempo de inicio cedo(Tes): 15
Tempo de inicio tarde(Tef): 40
Tempo de termino tarde(TTf): 40
Tempo de termino cedo(TTs): 15
Folga(GAP): 0
Custo estimado: 1750
Custo atual: 1651.5151

----- Estado Interno do AMon -----
Valor Planejado: 2310
Valor Agregado: 1750
Variação do periodo: -560
Variação do custo real: 98.49
Índice de performance do custo: 1.05
Índice de performance agendada: 0.75

----- Mensagens Preventivas -----
"Abaixo do Orcamento (Economia)."  

"Atrasado no Cronograma."  

"R$ -560.0 reais atras do cronograma."  

"R$ 98.49 reais abaixo do Orcamento."

-----Log do ACon-----
| Instante k: 50 |
Atividade: "E"

----- Acoes Preventivas -----
# Variacao do Tempo (VETIME) ao final da Atividade: -8.33
# Variacao do Custo (VEcost) ao final da Atividade: -83.33
# O Indice de Desempenho de Custo (CPI) que vale 1.05,
deve melhorar para 0 (TEPI)
# O esforco deve aumentar em -1.05

# Atividades Sucessoras da Atividade corrente fora do
Caminho Critico:

# Atividade (id=9): "I"
- TIs: 60
- TTf: 65
- Tempo Estimado: 5
- Custo Estimado: 350
- Folga: 15

----- Acoes Corretivas -----
* Hora-extra
----- Novas Estimativas -----
# Atividade: 9
- Novo Tempo: 5.595238095238097
- Novo Custo: 391.66666666666674
- Nova Folga: 15.595238095238097
- Novo TIs: 60.29761904761905
- Novo TTf: 65.29761904761905

# Atividade (id=8): "H"
- TIs: 55
- TTf: 65
- Tempo Estimado: 10
- Custo Estimado: 700
- Folga: 10

----- Acoes Corretivas -----
* Hora-extra
----- Novas Estimativas -----
# Atividade: 8
- Novo Tempo: 10.595238095238097
- Novo Custo: 741.6666666666667
- Nova Folga: 10.595238095238097
- Novo TIs: 55.29761904761905
- Novo TTf: 65.29761904761905
    
```

Figura 2. Recorte dos logs dos agentes AMon e ACon no Cenário I.

Em um intervalo de momentos distintos, especificamente entre os instantes trinta e oito e quarenta e cinco, a atividade "E" sofre um atraso em sua execução de maneira a terminar após o planejado (atrasado no cronograma), no entanto, consumindo menos recursos do que o planejado (abaixo do orçamento). Dessa forma, a atividade finaliza no momento cinquenta e um, configurando um atraso de oito unidades de tempo, porém com uma economia de aproximadamente cem unidades de moeda. A Figura 2 mostra os momentos finais da

atividade “E” contido nos logs dos agentes AMon e ACon.

Ainda no mesmo cenário, o agente Gerente registra as solicitações de mudanças enviadas pelo ACon no Ambiente de Solicitação de Mudanças. Para efeitos de simulação, o agente Gerente solicita as mudanças sugeridas pelo ACon por meio das ações corretivas, pois com elas o Gerente pode controlar o plano inicial do projeto. O agente AMud percebe as novas solicitações, calcula os impactos em relação ao custo e tempo e informa o gerente sobre a urgência da mudança e sua prioridade ao longo da evolução do projeto. Na Figura 3 é possível perceber as solicitações do agente Gerente no instante cinquenta e as ações do agente AMud nos momentos seguintes até que as solicitações tomam-se obsoletas.

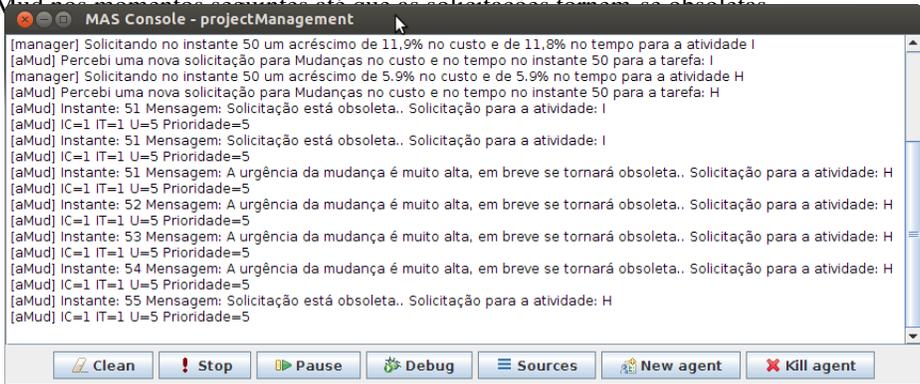


Figura 3. Solicitações do Gerente e mensagens enviadas pelo AMud.

5.2 Cenário II: Mudanças e eventos em atividades conjuntas

No cenário atual, o modelo de evolução do Ambiente de Projetos também foi programado para evoluir idealmente até o quarto momento, no entanto, o cenário provocará eventos inesperados em diferentes atividades para momentos coincidentes. Entre o quinto e o sétimo momento, a atividade “A” é acelerada para que seja possível terminar antes do prazo planejado (adiantado no cronograma), entretanto, consumindo mais recursos do que havia sido almejado (acima do orçamento). Assim como no Cenário I, ao final do sétimo momento, a atividade é finalizada com uma economia de tempo de três momentos, mas com um acréscimo de setenta unidades de moeda no custo estimado.

Entre o sétimo e o décimo quinto momento, a atividade “B” é programada para consumir menos recursos do que o planejado (abaixo do orçamento), entretanto, sofrendo um atraso em sua execução (atrasado no cronograma), finalizando apenas no momento dezoito. A situação configura um atraso de nove unidades de tempo, porém com uma economia de aproximadamente trinta e oito unidades de moeda. Logo em seguida, o ambiente volta a evoluir normalmente. A Figura 4 mostra o momento em que ocorrem eventos paralelos nas atividades “A” e “B” por meio de um recorte no conteúdo dos logs dos agentes AMon e

```

-----Log do AMon-----
| Instante k: 6 |
-----
Atividade: "A"
Tempo estimado: 10
Tempo atual: 7
Tempo de inicio cedo(Tes): 0
Tempo de inicio tarde(Tef): 10
Tempo de termino tarde(TTf): 10
Tempo de termino cedo(TTs): 0
Folga(GAP): 0
Custo estimado: 700
Custo atual: 770
----- Estado Interno do AMon -----
Valor Planejado: 489,99999999999994
Valor Agregado: 700
Variação do período: 210
Variação do custo real: -70
Índice de performance do custo: 0,9
Índice de performance agendada: 1,42
----- Mensagens Preventivas -----
"Acima do Orcamento (Estouro)."
"Adiantado no Cronograma."
"R$ 210,0 a frente do cronograma."
"R$ -70,0 reais acima do Orcamento."

Atividade: "B"
Tempo estimado: 5
Tempo atual: 2
Tempo de inicio cedo(Tes): 0
Tempo de inicio tarde(Tef): 5
Tempo de termino tarde(TTf): 10
Tempo de termino cedo(TTs): 5
Folga(GAP): 5
Custo estimado: 350
Custo atual: 116,66667
----- Estado Interno do AMon -----
Valor Planejado: 140
Valor Agregado: 116,66666666666666
Variação do período: -23,34
Variação do custo real: 0
Índice de performance do custo: 1
Índice de performance agendada: 0,83
----- Mensagens Preventivas -----
"Dentro do Orcamento."
"Atrasado no Cronograma."
"R$ -23,34 reais atras do cronograma."
"Dentro do Orcamento."

-----Log do ACon-----
| Instante k: 6 |
Atividades: "A" e "B"
***** ACOES PARA ATIVIDADES CONJUNTAS *****
----- Acao Preventiva -----
# No instante atual, temos R$ -77,77 acima do orcamento

----- Acao Corretiva -----
# Compensacao de Custo entre as Atividades Sucessoras
fora do Caminho Critico

# Atividades Sucessoras das atividades "A" e "B" que estão
fora do Caminho Critico:

# Atividade (id=12): "L"
- Custo Estimado: 700

----- Novas Estimativas para Atividade "L"-----
- Novo Custo: 684,44444444444445

# Atividade (id=13): "M"
- Custo Estimado: 1750

----- Novas Estimativas para Atividade "M"-----
- Novo Custo: 1734,44444444444443

# Atividade (id=9): "I"
- Custo Estimado: 350

----- Novas Estimativas para Atividade "I"-----
- Novo Custo: 334,44444444444446

# Atividade (id=8): "H"
- Custo Estimado: 700

----- Novas Estimativas para Atividade "H"-----
- Novo Custo: 684,44444444444445

# Atividade (id=4): "D"
- Custo Estimado: 1050

----- Novas Estimativas para Atividade "D"-----
- Novo Custo: 1034,44444444444443

```

Figura 4. Recorte nos conteúdos dos logs de AMon e ACon no sexto momento. ACon, exatamente no instante seis do projeto.

6 Considerações finais

A atividade de monitoramento e controle do trabalho é crítica para o sucesso do projeto. No entanto, o grande volume de informações envolvidas em um ambiente dinâmico e em constante mudança, onde as interações entre os processos participantes nem sempre são visíveis, tornam as atividades altamente complexas. No presente artigo foi apresentada uma abordagem que une três agentes inteligentes capazes de automatizar o monitoramento e controle de diversos aspectos do projeto de forma integrada com a gestão de mudanças com base em [2]. Esta abordagem permite, de forma contínua e proativa: (a) monitorar o desempenho dos trabalhos e detectar eventuais desvios (AMon), a partir dos quais ações preventivas e corretivas são sugeridas com base na análise da situação corrente e na geração de novas estimativas (ACon), (b) monitorar as solicitações de mudança requisitadas e atualizar a evolução do seu estado no decorrer do tempo (AMud), possibilitando a manutenção das linhas de base do projeto consistentes, (c) manter o gerente informado do andamento dos trabalhos (AMon) e do estado das solicitações de mudança registradas (AMud).

Os resultados nas simulações mostram a capacidade da abordagem em oferecer sugestões às partes interessadas do projeto sobre ações que podem ser tomadas para um controle mais efetivo do projeto. Sugere-se ainda como trabalhos futuros: (i) aprimoramento das regras nos agentes de forma a atender um número maior de situações; (ii) incorporação nas regras do agente de controle de aspectos relacionados à margem de erro, já que desvios pouco aparentes estão sendo tratados de maneira geral; e (iii) inclusão de controle de influência de fatores geradores de mudanças, abordando principalmente o gerenciamento de riscos. Vale comunicar que os resultados gerados durante as execuções dos agentes apresentados neste trabalho estão disponíveis e podem ser acessados pelo endereço: http://186.225.40.148/professor/necio/project_monitoring_logs/.

7 Referências

- [1] I. Sommerville, S. S. S. Melnikoff, R. Arakaki, and E. de Andrade Barbosa, *Engenharia de software*. Addison Wesley São Paulo, 2009.
- [2] P. M. I. Pmbok, “A guide to the project management body of knowledge: Pmbok® guide.” Project Management Institute, 2008.
- [3] M. Possi and E. Borges, “Gerenciamento de projetos: Guia do profissional, abordagem geral e definição de escopo,” *Rio de Janeiro, RJ: Ecthos/CREA/RJ*, vol. 1, 2006.
- [4] A. Abran and P. Bourque, *SWEBOK: Guide to the software engineering Body of Knowledge*. IEEE Computer Society, 2004.
- [5] P. M. Institute, “Practice standart for earned value management,” *USA: Project Management Institute, Inc.*, 2005.
- [6] F. Y. Partovi and J. Burton, “Timing of monitoring and control of cpm projects,” *Engineering Management, IEEE Transactions on*, vol. 40, no. 1, pp. 68–75, 1993.
- [7] C. W. W. Chang and I. Sethi, “A metric-based multi-agent system for software project management,” *In Eighth IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science*, 2009.
- [8] R. C. Nienaber, “A model for enhancing software project management using software agent technology,” Ph.D. dissertation, University of South Africa, 2008.
- [9] D. D. Galorath and J. Galorath, “Achieving software development success-using best practice planning, estimation, tracking and control,” in *proceedings of the Proc. Software Measurement European Forum*, 2006.
- [10] A. Ricci, M. Piunti, M. Viroli, and A. Omicini, “Environment programming in cartago,” in *Multi-Agent Programming*. Springer, 2009, pp. 259–288.

- [11] N. R. Jennings, *On agent-based software engineering*. Elsevier, 2000.
- [12] E. R. Mascarenhas, N. L. Veras, L. L. C. Souza, and M. I. Cortés, “Abordagem baseada em um agente para apoio à gestão integrada de mudanças em projetos,” in *Anais do X Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI)*, 2014.
- [13] T. A. Baldissera and R. C. Nunes, “Impacto na implementação da norma nbr iso/iec 17799 para a gestão da segurança da informação em colégios: um estudo de caso,” *ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO*, vol. 27, 2006.
- [14] L. L. C. Souza, G. A. L. Campos, M. I. Cortés, and A. C. P. Queiroz, “Auxiliando nas decisões gerenciais de projetos de software com agentes inteligentes,” in *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software (SBQS)*, 2013.
- [15] L. L. C. Souza, A. C. P. Queiroz, G. A. L. Campos, M. I. Cortés, N. L. Veras, E. J. T. Gonçalves, and M. A. Oliveira, “Controle inteligente no desenvolvimento de projetos de software,” in *Anais do X Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI)*, 2014.
- [16] L. L. C. Souza, “Suporte ao monitoramento e controle de processos de software – uma abordagem inteligente com base na teoria do valor agregado,” Master’s thesis, Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação (MACC), Universidade Estadual do Ceará, 2013.
- [17] R. H. Bordini and J. F. Hübner, “A java-based agentspeak interpreter used with saci for multi-agent distribution over the net. in <http://jason.sourceforge.net>,” 2005.