

CHANGEADVISOR: Alinhando o Planejamento de Mudanças em Infra-estruturas de Rede e Serviços a Propósitos de Negócio*

Roben Castagna Lunardi, Weverton Luis da Costa Cordeiro,
Juliano Araújo Wickboldt, Guilherme Sperb Machado, Fabrício Girardi Andreis,
Alan Diego dos Santos, Cristiano Bonato Both, Luciano Paschoal Gasparry,
Lisandro Zambenedetti Granville

Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Porto Alegre – RS – Brasil

{rclunardi, weverton.cordeiro, jwickboldt, gsmachado, fgandreis,
adsantos, cbboth, paschoal, granville}@inf.ufrgs.br

Abstract. *Change planning represents a key element for the operation and management of network infrastructures and services. Its scope ranges from the high level design of a change request to the generation, either manually or automatically, of detailed plans that, if executed, will materialize the requested changes (e.g., modification of network device settings and deployment of new services). A fundamental problem is that, although correct, such detailed plans may not be necessarily aligned to requirements defined in the business level. To overcome this problem, in this paper we propose a solution for the alignment of network infrastructure and service change plans to business objectives/constraints. The solution is analyzed experimentally through a prototypical implementation of a decision support system called CHANGEADVISOR, which helps operators to understand the trade-offs between alternative change designs.*

Resumo. *O planejamento de mudanças é um elemento chave para a gerência e a operação de infra-estruturas de redes e serviços. Ele compreende desde a especificação em alto nível até a geração, possivelmente automatizada, de planos detalhados que, se executados, concretizarão as mudanças solicitadas (por exemplo, alteração da configuração de dispositivos de rede). Um problema fundamental é que, embora corretos, tais planos de mudança podem não necessariamente estar alinhados com os propósitos definidos em nível de negócio. Para abordar este problema, neste artigo propõe-se uma solução para alinhar o planejamento de mudanças em infra-estruturas de rede e serviços a objetivos/restrições de negócio. A solução proposta é avaliada experimentalmente por meio da implementação prototípica de um sistema de suporte à decisão denominado CHANGEADVISOR, o qual auxilia operadores a entender o "compromisso" entre planos de mudança alternativos.*

1. Introdução

O tamanho e complexidade crescentes das infra-estruturas de rede e serviços – também chamadas genericamente de infra-estruturas de Tecnologia da Informação (TI) ao longo do artigo – têm demandado das organizações a adoção de boas práticas e processos para assegurar o seu funcionamento correto e eficiente. Com o objetivo de auxiliar as organizações nessa tarefa, a Biblioteca de Infra-estrutura de Tecnologia da Informação (*Information Technology Infrastructure Library, ITIL*) [ITIL 2008], uma das referências mais importantes neste contexto, recomenda, entre outros processos, o gerenciamento de mudanças. Esse processo auxilia no tratamento imediato e eficiente de mudanças que venham a ser necessárias na infra-estrutura de *hardware* e *software* das organizações.

Considerado um dos elementos chave do referido processo, o *planejamento de mudanças* [Service Transition 2007] compreende desde a especificação da mudança por

* Este trabalho foi desenvolvido em colaboração com a HP Brasil P&D.

um solicitante, em alto nível de abstração (ex: ampliação da capacidade de canais de comunicação, migração de serviços, implantação de novas aplicações), até a geração, possivelmente automatizada, de planos com alto grau de detalhamento (isto é, planos que compreendem atividades de baixo nível como, por exemplo, manipulação de rotas em roteadores e modificação de políticas de *firewall*). Esses planos, se executados, concretizarão as mudanças especificadas pelo solicitante na infra-estrutura gerenciada.

Um problema fundamental acerca da geração dos planos de mudança é que, a partir de uma mesma especificação em alto nível, podem ser obtidos diferentes planos detalhados. Embora corretos, esses planos não necessariamente estão alinhados com os propósitos definidos em nível de negócio para a infra-estrutura de TI. Os propósitos podem ser de natureza técnica, tais como a imposição de *restrições* quanto à indisponibilidade de serviços providos pela rede gerenciada, ou podem definir *objetivos* para otimizar a alocação de recursos durante a execução da mudança (por exemplo, minimizar o número de operadores envolvidos na manutenção de um serviço de *e-mail*). Sem levar em conta tais considerações, os planos de mudança gerados podem levar a resultados que violam políticas pré-definidas no nível de negócio (por exemplo, paradas para manutenção no serviço de *e-mail* não devem exceder 10 horas mensais).

Destacam-se três motivos que justificam a importância de alinhar planos de mudança em infra-estruturas de redes e serviços com propósitos de negócio. Primeiro, existe a possibilidade de otimização no uso dos recursos disponíveis, que normalmente são escassos e/ou caros. Segundo, tal alinhamento tem potencial para contribuir com a redução de custos como, por exemplo, o tempo despendido para completar a mudança. Terceiro – e mais importante – a possibilidade de alinhar o planejamento de mudanças a propósitos distintos permite ao operador entender os “compromissos” resultantes ao optar por um plano de mudança dentre as opções possíveis. No entanto, apesar dos potenciais benefícios, tal alinhamento tem sido negligenciado pelas investigações na área de gerência e operações que, alternativamente, têm enfatizado aspectos como a geração de planos exequíveis [Cordeiro 2008a] e otimizados [Keller 2004].

Para suprir esta lacuna, neste artigo propõe-se uma solução para alinhar o planejamento de mudanças em infra-estruturas de redes e serviços com propósitos definidos em nível de negócio. Em contraste com as propostas já estabelecidas na literatura, este artigo concentra-se na geração automatizada de planos de mudança guiada pelos objetivos/restrições definidos durante a especificação da mesma. A solução proposta é avaliada experimentalmente por meio do CHANGEADVISOR, uma implementação prototípica de um sistema de suporte à decisão que fornece apoio para o entendimento dos “compromissos” entre planos de mudança alternativos. Durante a avaliação – realizada considerando cenários baseados em casos reais – foram avaliadas a correção e a completude dos planos gerados, bem como o alinhamento dos mesmos aos propósitos de negócio definidos na fase de especificação das mudanças.

O restante do artigo está organizado como segue. A Seção 2 discute alguns dos principais trabalhos publicados na área de gerenciamento de mudanças em TI. A Seção 3 apresenta a solução conceitual para a geração de planos de mudanças alinhados a propósitos de negócio. A Seção 4 detalha o sistema CHANGEADVISOR, enquanto a Seção 5 descreve a avaliação experimental conduzida utilizando esse sistema. Por fim, a Seção 6 conclui o artigo com as considerações finais e perspectivas de trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

A grande área de gerenciamento de infra-estruturas de TI tem recebido grande atenção da comunidade científica nos últimos anos. Diversos aspectos vêm sendo explorados, tais como modelos [Rodosek 2003], automação [Brown 2006] e alinhamento a propósitos de negócio [Moura 2008]. Analisando-se especificamente a subárea de

gerenciamento de mudanças, observa-se atividade semelhante. Por exemplo, passos importantes têm sido dados em tópicos como agendamento [Rebouças 2007, Trastour 2007] e *rollback* [Machado 2008]. Contudo, o tópico relacionado a *planejamento* de mudanças em TI, foco deste artigo, tem sido comparativamente pouco explorado. A seguir são discutidos os três principais trabalhos relacionados ao assunto.

Keller *et al.* [Keller 2004] propuseram CHAMPS, um sistema para automação da geração de planos de mudança que exploram um alto grau de paralelismo na execução de tarefas. Embora seja capaz de aperfeiçoar o agendamento de tarefas considerando os recursos de *hardware* disponíveis para executá-las, CHAMPS não leva em consideração a associação de tarefas a recursos humanos nem objetivos/restrições especificados pelo solicitante.

Em um trabalho recente, Cordeiro *et al.* [Cordeiro 2008a] propuseram uma solução para formalizar, preservar e reusar o conhecimento adquirido durante mudanças recorrentes em infra-estruturas de redes e serviços. A solução, baseada em *modelos de mudança*, permite que passos rotineiros (por exemplo, alterações e/ou implantações de serviços) sejam especificados em alto nível e recorrentemente instanciados (por exemplo, a partir da indicação dos serviços que serão manipulados). Embora a solução compreenda um algoritmo para a geração de planos detalhados a partir da especificação em alto nível, está fora do escopo desse algoritmo, como uma premissa simplificadoria, alinhar os planos gerados a propósitos de negócio. Em um trabalho subsequente [Cordeiro 2008b], o algoritmo de geração de planos foi aprimorado, de modo a levar em consideração as restrições técnicas impostas pelo ambiente gerenciado (por exemplo, disponibilidade de recursos como espaço em disco e memória, e permissões para a execução de ações em determinados dispositivos).

Outro conjunto de trabalhos, apesar de não tratar o problema de planejamento de mudanças, merece breve discussão por, de alguma forma, explorar alinhamento com aspectos de nível de negócio. Por exemplo, Keller [Keller 2005] introduziu o conceito de contratos eletrônicos. No trabalho em questão são propostos quatro tipos de contratos: RFCs, *Deployment Descriptors*, Políticas e Boas Práticas, e Acordos de Nível de Serviço (*Service Level Agreements, SLAs*). Esses documentos, que possuem diferentes propósitos, formatos e níveis de detalhamento, são utilizados para a especificação de objetivos/restrições e têm fundamental importância para o processo de execução de mudanças. Na mesma linha de investigação, Rebouças *et al.* [Rebouças 2007] propuseram uma abordagem para a priorização e o escalonamento de mudanças visando à minimização de custos (por exemplo, custos operacionais e perdas financeiras devido à violação de SLAs).

Em síntese, embora o planejamento de mudanças tenha sido foco de algumas investigações recentes, o alinhamento das mesmas com propósitos definidos em nível de negócio não foi abordado. Isso significa que, não raro, o planejamento e, por conseguinte, a execução de mudanças é conduzida em direção oposta, ou de forma pouco alinhada, com objetivos/restrições demandados pelo solicitante. Para lidar com este problema, as seções seguintes apresentam uma solução conceitual, além do sistema desenvolvido para suportá-la e os resultados obtidos.

3. Solução Conceitual

Visando oferecer suporte ao planejamento de mudanças alinhado a propósitos definidos em nível de negócio, foram introduzidos dois novos componentes na solução conceitual para o planejamento e a implantação de mudanças, proposta em um trabalho anterior [Cordeiro 2008a]. Os novos componentes – destacados na área em cinza – materializam o mecanismo para o planejamento guiado por propósitos de negócio e se encaixam adequadamente, sem modificação significativa, na solução conceitual proposta

anteriormente. A Figura 1 apresenta uma visão geral da solução estendida, destacando os seus principais componentes, atores envolvidos e interações entre esses elementos.

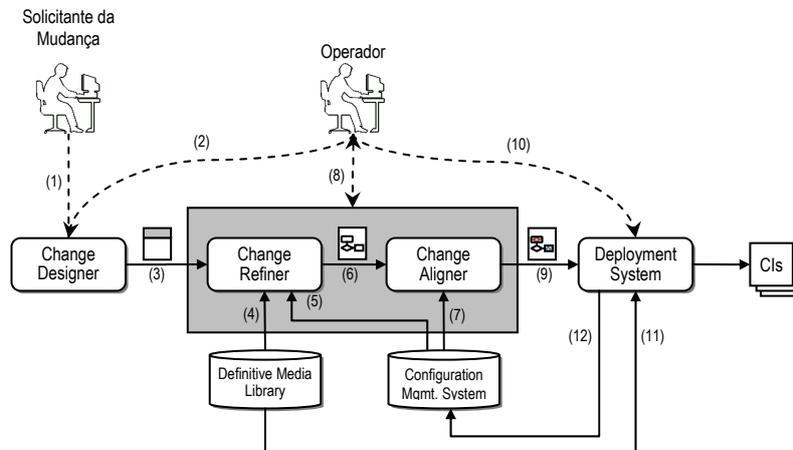


Figura 1. Arquitetura conceitual da solução proposta

O solicitante da mudança inicia um processo de mudança interagindo com o componente *Change Designer* (fluxo 1 na Figura 1) para elaborar uma requisição de mudança (*Request for Change, RFC*). A RFC descreve, em linhas gerais, quais modificações devem ser acomodadas na infra-estrutura gerenciada, os itens de configuração (*Configuration Items, CIs*) primariamente afetados (por exemplo, *firewall, switches, serviços, aplicações, etc.*), e os propósitos de negócio a serem alcançados. A RFC, no entanto, não especifica os detalhes de como a mesma deve ser materializada. Esses devem ser esboçados em um passo subsequente, por um operador, por meio da especificação de um “plano preliminar” junto ao componente *Change Designer* (fluxo 2). O plano preliminar consiste de um *workflow* de atividades (ou ações) que descrevem, em alto nível de abstração, como a mudança requisitada deve ser materializada na infra-estrutura.

A geração do plano detalhado de mudança a partir da especificação preliminar esboçada pelo operador é realizada, sem intervenção humana, pelo componente *Change Refiner* (3). Esse processamento é efetuado utilizando um algoritmo de refinamento de atividades, com base em informações sobre (pacotes de) *software*, disponíveis na *Definitive Media Library (DML)* (4), e em informações sobre a infra-estrutura de TI alvo da mudança (5), presentes no *Configuration Management System (CMS)*.

Após o refinamento da mudança, o plano resultante é consumido pelo componente *Change Aligner* (6), que possui um papel central no alinhamento do plano aos objetivos/restrições de negócio expressos na RFC. Para guiar este alinhamento, o componente *Change Aligner* obtém no CMS (7) informações sobre custos de alocação de operadores e suas habilidades (por exemplo, um operador *expert* em serviço de *e-mail* cuja hora de trabalho custa 40 unidades monetárias), bem como capacidade dos dispositivos a serem manipulados (por exemplo, poder computacional, no caso de estações de trabalho e servidores). É importante ressaltar que o processo de refinamento e alinhamento da mudança é reiterado, durante um período de tempo definido *a priori* pelo operador, visando à geração de diferentes planos detalhados que atendam aos mesmos propósitos de negócio definidos na RFC.

Posteriormente (8), os planos gerados podem ser modificados pelo operador (de modo a refletir precisamente suas necessidades), e avaliados quanto aos “compromissos” existentes entre as várias alternativas. Entre os critérios que podem servir de parâmetros para essa análise estão o tempo necessário, os custos financeiros associados e os recursos humanos que devem ser alocados para a execução dos planos.

Com base nessa análise, o operador poderá selecionar o plano mais adequado para ser executado sobre a infra-estrutura.

Como próximo passo do processo de mudança, o operador invoca a execução do plano selecionado (9) interagindo com o componente *Deployment System* (10). Para realizar algumas das atividades descritas no plano, tal componente pode consumir pacotes de *software* disponíveis na *Definitive Media Library* (11). Após a execução, o *Deployment System* deverá atualizar o CMS com as modificações realizadas em cada CI da infra-estrutura gerenciada (12).

Tendo apresentado uma visão geral da solução proposta, as próximas subseções têm por objetivo descrever (i) a geração de planos detalhados a partir da especificação preliminar de mudanças e (ii) o processo de alinhamento de tais planos a propósitos definidos em nível de negócio.

3.1. Change Refiner

O componente *Change Refiner* desempenha um papel importante no processo de geração de um plano de mudança detalhado a partir do plano preliminar fornecido pelo solicitante da mudança. Para materializar esse componente, propõe-se um algoritmo, inspirado em um trabalho anterior [Cordeiro 2008b], que oferece suporte à geração de diferentes alternativas de planos para o processo de alinhamento. O novo algoritmo, bem como seu relacionamento com as outras entidades da solução conceitual, é brevemente descrito a seguir.

Conforme apresentado na solução conceitual, a geração de planos de mudanças detalhados requer informações sobre as entidades que compõem a infra-estrutura e seus relacionamentos, e os pacotes de *software* disponíveis para a implantação de mudanças. Com o objetivo de materializar o armazenamento dessas informações no CMS e na DML, respectivamente, é empregado neste artigo um subconjunto do *Common Information Model* (CIM) [DMTF 2008]. A Figura 2 apresenta uma visão parcial do modelo, o qual permite representar qualquer CI que compõe a infra-estrutura gerenciada. Relacionamentos tais como associações, composições e agregações, a maioria omitidas na figura por questões de legibilidade, mapeiam as dependências entre os elementos que compõem a infra-estrutura.

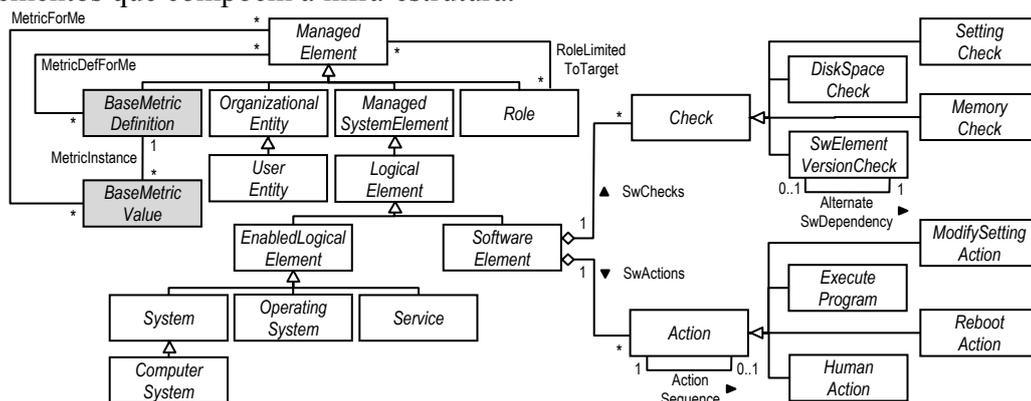


Figura 2. Modelo usado para a representação da infra-estrutura de TI e da DML

O modelo apresentado incorpora também classes *Check* e *Action*, que mapeiam informações necessárias para o cômputo de dependências e refinamento das atividades que compõem o plano preliminar. Uma instância da classe *Check* define uma condição a ser satisfeita ou uma característica requerida pelo *software* associado para que o mesmo possa evoluir para um novo estado (ex: *deployable*, *installable*, *executable* ou *running*).

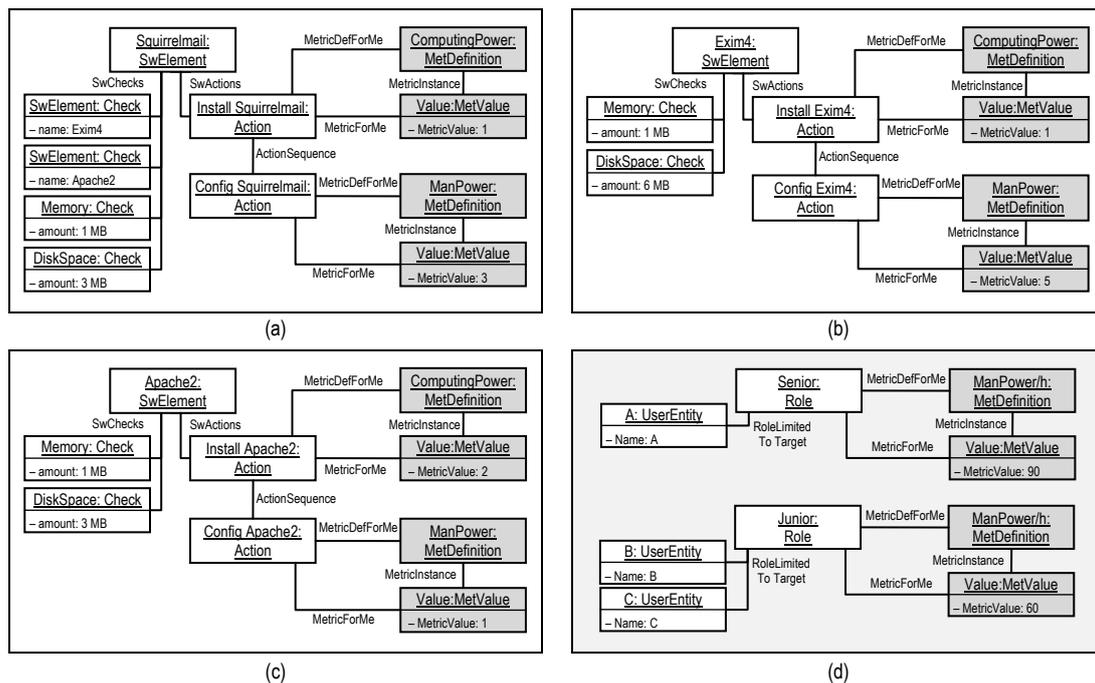


Figura 3. Instâncias de *software* (*SoftwareElement*) presentes na DML (a,b,c) e de Papéis (*Roles*) presentes na infra-estrutura de TI (d)

Na Figura 3(a) são ilustradas instâncias de *Checks* associadas ao *software* *Squirrelmail*. As duas primeiras expressam, respectivamente, que os *softwares* *Exim4* e *Apache2* devem ser instalados antes da instalação do *Squirrelmail*. As duas últimas, por sua vez, expressam que o *Squirrelmail* requer 1 MB de memória e 3 MB de espaço em disco para instalação e execução, respectivamente. Cada instância da classe *Action*, por sua vez, representa uma atividade exigida para mudar o estado do *software* associado (ex: de *installable* para *executable*, isto é, um processo de instalação). Utilizando novamente como exemplo o *Squirrelmail*, são ilustradas em 3(a) duas atividades associadas ao processo de instalação do mesmo: *Install Squirrelmail*, responsável pela cópia dos arquivos binários do *Squirrelmail*; e *Configure Squirrelmail*, a qual gera as configurações necessárias para o funcionamento do serviço provido pelo mesmo.

Outro requisito importante para a geração automatizada de planos detalhados é a definição, de forma não ambígua e interpretável pelo mecanismo de refinamento, dos objetivos das atividades presentes no plano preliminar. Para tal, é utilizada uma notação, proposta em um trabalho anterior [Cordeiro 2008a], denominada *Activity Modeling Notation* (AMN). Como exemplo, considere novamente a atividade *Install Squirrelmail*. Sua representação, de acordo com a AMN, é *install SoftwareElement Squirrelmail at ComputerSystem www.example.com*. Neste exemplo, *Squirrelmail* e *www.example.com* são referências a objetos presentes na DML e no CMS, respectivamente.

O algoritmo para o refinamento de mudanças, também denominado de *change_refinement*, recebe como entrada a especificação de mudança a ser refinada, além de dados sobre o atual estado da infra-estrutura gerenciada (oriundos do CMS) e sobre pacotes disponíveis para o processo de mudança (provenientes da DML). Para cada uma das atividades que compõe o plano preliminar, *change_refinement* computa o conjunto de atividades que satisfazem as dependências para a execução da mesma.

Para ilustrar o processo de refinamento, considere a RFC *Migrate Mail System*, apresentada na Figura 4 (fundo em cinza na figura). Ela consiste na migração de um serviço de *e-mail* do servidor *X* para o *Y*, e tem como objetivo minimizar o tempo de execução estimado para, no máximo, 120 minutos (de modo a não comprometer as

operações da organização). O plano preliminar associado à especificação (fundo em branco) é composto por seis atividades em alto nível, que compreendem desde a instalação do sistema operacional até a migração de dados e configurações do serviço de *e-mail* localizado em *X* para *Y* (ambos servidores presentes na rede gerenciada).

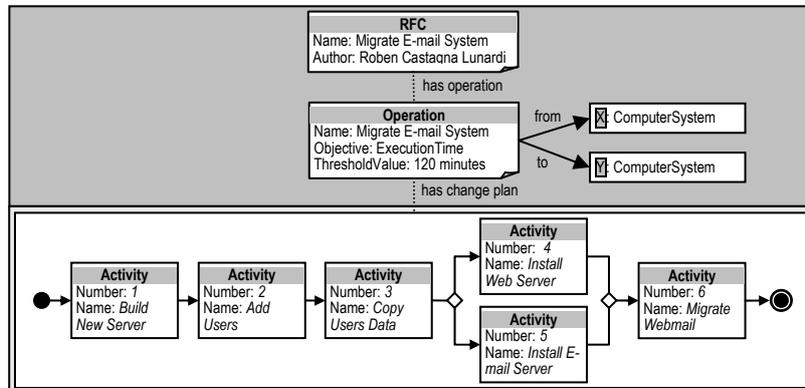


Figura 4. Exemplo de RFC e de plano preliminar de mudança para migração de servidor de *e-mail* e respectivo *front-end Web*

Focando na atividade *Install Squirrelmail* (ilustrada no plano preliminar), *change_refinement* identifica – a partir das pré-condições (*Checks*) apresentadas na DML (Figura 3(a)) – que a execução dessa atividade depende da instalação prévia dos softwares *Apache2* (servidor Web) e *Exim4* (servidor de *e-mail*). Logo, duas novas atividades serão geradas para satisfazer as dependências de *Install Squirrelmail*: *Install Apache2* (a) e *Install Exim4* (b). Esse processo continua recursivamente, até que todas as dependências para execução das atividades do plano sejam satisfeitas. Ao final desse processo, quando um plano detalhado é obtido (por exemplo, o plano ilustrado na Figura 6), *change_refinement* armazena o “estado atual” (isto é, as opções de refinamento percorridas para se chegar a tal plano). Esse passo é importante para que, após o alinhamento (discutido em detalhes na Subseção 3.2), seja possível gerar novos planos detalhados utilizando refinamentos alternativos. Desta forma, diferentes planos de mudança detalhados podem ser gerados para a mesma especificação inicial.

3.2. Change Aligner

A materialização do componente *Change Aligner*, elemento chave para o alinhamento dos planos detalhados aos objetivos de negócio, está fundamentada em três blocos construtores principais: (i) a formalização de propósitos de negócio, (ii) os modelos para representar métricas de custos/capacidades e (iii) o algoritmo para o alinhamento de mudanças em função dos propósitos especificados e custos/capacidades associados aos elementos da infra-estrutura. Cada um desses blocos construtores é detalhado a seguir.

3.2.1. Objetivos/Restrições de Negócio e Métricas de Custos/Capacidades

Para que os planos de mudança produzidos pelo componente *Change Refiner* possam ser alinhados a objetivos/restrições de negócio, o(s) objetivo(s) e/ou restrição(ões) a ser(em) satisfeito(s) precisa(m) ser especificado(s) na RFC. Duas categorias de objetivos/restrições são contempladas nessa primeira iteração para solucionar o problema. São elas: o tempo necessário (*ExecutionTime*) e o custo associado (*ExecutionCost*) para completar uma mudança. Estes foram os objetivos apontados como essenciais por um grupo de operadores de rede consultados. Acompanha a definição de cada objetivo e/ou restrição um limiar (*ThresholdValue*), representando o tempo máximo admitido e/ou o custo máximo tolerado, calculado em função dos humanos alocados, para a execução da mudança. Como pode ser observado na Figura 4,

foi especificado na RFC *Migrate E-mail System* que a mudança, ao ser planejada, deve considerar um tempo máximo de execução de 120 minutos.

Outras informações indispensáveis ao processo de alinhamento são as *métricas de custo* e de *capacidades*. Enquanto as primeiras são usadas para caracterizar o esforço demandado para a execução de atividades ligadas a gerência e a operação de infra-estruturas de redes e serviços, as últimas permitem expressar uma expectativa de rendimento de humanos ou computadores para executá-las. As métricas empregadas neste trabalho, enumeradas a seguir, são adotadas e consolidadas em áreas como Sistemas Distribuídos [Shepherd 1977], Engenharia de Software [Pillai 1997] e Economia [Banyahia 1996]. Do ponto de vista de modelagem, são especificadas, e seus valores instanciados, no modelo usado para a representação da infra-estrutura de TI e da DML (ilustrado na Figura 2) por meio das classes *BaseMetricDefinition* e *BaseMetricValue*, respectivamente.

As métricas de custo são subdivididas em *ManPower* (MP) e *ComputingPower* (CP). MP é usada para quantificar o esforço humano necessário para executar uma atividade. CP, por sua vez, denota o esforço computacional requerido para executar uma atividade automatizada, *i.e.*, com nenhuma (ou desprezível) intervenção humana. Instâncias de valores para essas métricas são utilizadas para “anotar” custos em atividades associadas a elementos de *software* registrados na DML. Na Figura 3, pode-se observar, a título de ilustração, que as atividades *Install Squirrelmail* (a), *Install Exim4* (b) e *Install Apache2* (c) possuem custo de execução associado, em CP, de 1, 1 e 2 unidades, respectivamente. Já as atividades de configuração dos referidos serviços, *Config Squirrelmail* (a), *Config Exim4* (b) e *Config Apache2* (c), apresentam custo, em MP, de 3, 5 e 1 unidades.

A exemplo do que ocorre com as métricas de custo, as métricas de capacidade também se desdobram em duas: *ManPower/Hour* (MP/H) e *ComputingPower/Hour* (CP/H). Elas denotam a carga de trabalho sustentada por humanos e computadores para executar atividades. No caso de MP/H, instâncias de valores da métrica são “anotadas” junto a papéis desempenhados pelo corpo de pessoas vinculadas ao setor de TI da organização. No exemplo ilustrado na Figura 3 (d), são modelados dois papéis, *Senior* e *Junior*, com MP/H equivalentes a 90 e 60 unidades, respectivamente. A esses papéis são, então, associadas pessoas, de acordo com as funções desempenhadas por elas. Instâncias de valores da métrica CP/H, por outro lado, são vinculadas a cada um dos computadores presente na infra-estrutura de TI, refletindo o seu desempenho esperado.

É importante destacar que a investigação de formas de valoração de custos e capacidades, apesar de fundamentais para a solução proposta, não fazem parte do escopo deste artigo. Para esta finalidade, assumimos o emprego de alguma das propostas publicadas e consolidadas na literatura, muitas das quais foram recentemente compiladas por Jorgensen [Jorgensen 2007]. No caso deste artigo, adotamos o método empírico, que consiste em valorar as atividades mais simples – tanto as automatizadas quanto as baseadas em execução por humano – atribuindo custos 1 (um) CP e 1 (um) MP, respectivamente. Tomando as mesmas como base, são calculados os custos para as demais atividades. A estimativa das capacidades dos recursos computacionais (CP/H) e dos humanos (MP/H), por sua vez, é feita considerando históricos de execução das mesmas em um determinado ambiente, durante um determinado período de tempo.

3.2.2. Algoritmo de Alinhamento a Objetivos/Restrições de Negócio

O mecanismo de refinamento, os modelos e as métricas apresentados anteriormente formam a base sobre a qual o algoritmo para o alinhamento de planos de mudança a propósitos de negócio está constituído. O algoritmo, ilustrado na Figura 5, é denotado por *change_alignment* (*C*, *DML*, *IT*, *H*), sendo *C* o plano de mudança conforme gerado

pelo *change_refinement*, *DML* o repositório que contém informações sobre pacotes de *software* disponíveis, *IT* o repositório de informações sobre a infra-estrutura gerenciada, e *H* o conjunto de operadores humanos disponíveis para a condução de mudanças.

```

01 change_alignmnet (C, DML, IT, H)
02   C' ← empty change plan
03   D ← set of activities from C
04   recursive_alignment (C, C', D, DML, IT, H)
05
06 recursive_alignment (C, C', D, DML, IT, H)
07   if D is empty and cost of deploying C' comply with objective threshold, given DML, IT, then
08     return C' as solution
09   extract activity ai from D
10   if ai is a human activity then
11     for all h in H do
12       for all ai in C do
13         allocable ← true
14         if ai is parallel to aj in C and h is allocated to aj then
15           allocable ← false
16         if allocable is true then
17           associate human h to ai
18           add activity ai to change plan C'
19           if cost of deploying C' comply with objective threshold, given DML, IT, then
20             recursive_alignment (C, C', D, DML, IT, H)
21         else
22           add activity ai to change plan C'
23           if cost of deploying C' comply with objective threshold, given DML, IT, then
24             recursive_alignment (C, C', D, DML, IT, H)
25   return failure

```

Figura 5. Algoritmo para geração de planos de mudança alinhados a objetivos/restrições de negócio

Como primeiro passo do processo de alinhamento, é criado um plano de mudança “vazio”, o qual conterá o resultado deste processo (linha 01 na Figura 5). Em seguida, as atividades presentes em *C* são copiadas para o conjunto *D* (linha 02), e o alinhamento continua a partir da invocação da função *recursive_alignment* (04).

O processo de alinhamento, conforme descrito em *recursive_alignment*, inicia-se pela verificação se *D* (o conjunto de atividades ainda não processadas) é vazio ou não, e se o plano *C'* recebido satisfaz aos propósitos de negócio especificados na RFC (07). Caso positivo, o plano *C'* é retornado como solução. Caso contrário, os seguintes passos são executados. Inicialmente, uma atividade *a_i* é extraída do conjunto *D*, para processamento (09). Em seguida, é verificado se *a_i* requer (ou não) apoio de um operador humano para a sua execução (10). Caso *a_i* demande intervenção humana, o algoritmo tenta alocar o operador mais capacitado *h* (disponível em *H*, o conjunto de operadores humanos) que não esteja alocado a nenhuma outra atividade paralela a *a_i* (linhas 11-18). A alocação do operador mais capacitado é realizada a partir da seleção dos mesmos em ordem decrescente de Papel (*Role*) ao qual estão associados. Por exemplo, considerando os papéis *Senior* e *Junior*, nesta ordem, os operadores melhor capacitados pertencerão a *Senior*, enquanto que os demais pertencerão a *Junior*.

É importante mencionar que, para cômputo do alinhamento, a alocação dos operadores é conduzida de forma não-nominal. Em outras palavras, é especificado que um humano com papel *x* deverá executar um conjunto de atividades. A alocação efetiva (ou nominal) de operadores às atividades é postergada para a etapa de agendamento (*scheduling*) da mudança. Essa etapa está fora do escopo deste artigo, sendo abordada por diversos trabalhos relacionados [Keller 2004, Rebouças 2007, Trastour 2007].

Uma vez alocado um humano para *a_i*, o algoritmo verifica qual o custo de executar o plano *C'* sobre a infra-estrutura gerenciada, considerando tal alocação (linha 19). Se o custo não violar o valor de limiar (*ThresholdValue*) definido em função do objetivo especificado na RFC, o processo de alinhamento continua recursivamente (20), de modo a processar as outras atividades restantes em *D*. Vale ressaltar que a semântica do *custo* (e por conseguinte, do *limiar*) está atrelada ao objetivo/restrição associado à RFC. Por exemplo, caso seja especificada a redução do tempo de execução (*ExecutionTime*), *limiar* e *custo* são avaliados em função de *tempo*.

Alternativamente, a atividade a_i extraída do conjunto D pode não necessitar de intervenção humana (21). Nesse caso, a mesma é adicionada diretamente ao plano que será retornado como solução (22). O processamento segue recursivamente (24), caso o custo de execução de C' esteja alinhado com o limiar e objetivo definidos (23).

Caso nenhum dos humanos disponíveis possa ser alocado para a_i , ou o custo para executar C' (já com a adição de a_i) supere o valor de limiar definido, o processo de alinhamento falhará (linha 25). Conseqüentemente, as alocações de operadores realizadas em recursões anteriores serão re-feitas, de modo a explorar novas alternativas para o alinhamento. No pior caso, *recursive_alignment* retornará o *feedback* de que não é possível alinhar o plano detalhado C ao propósito de negócio indicado na RFC.

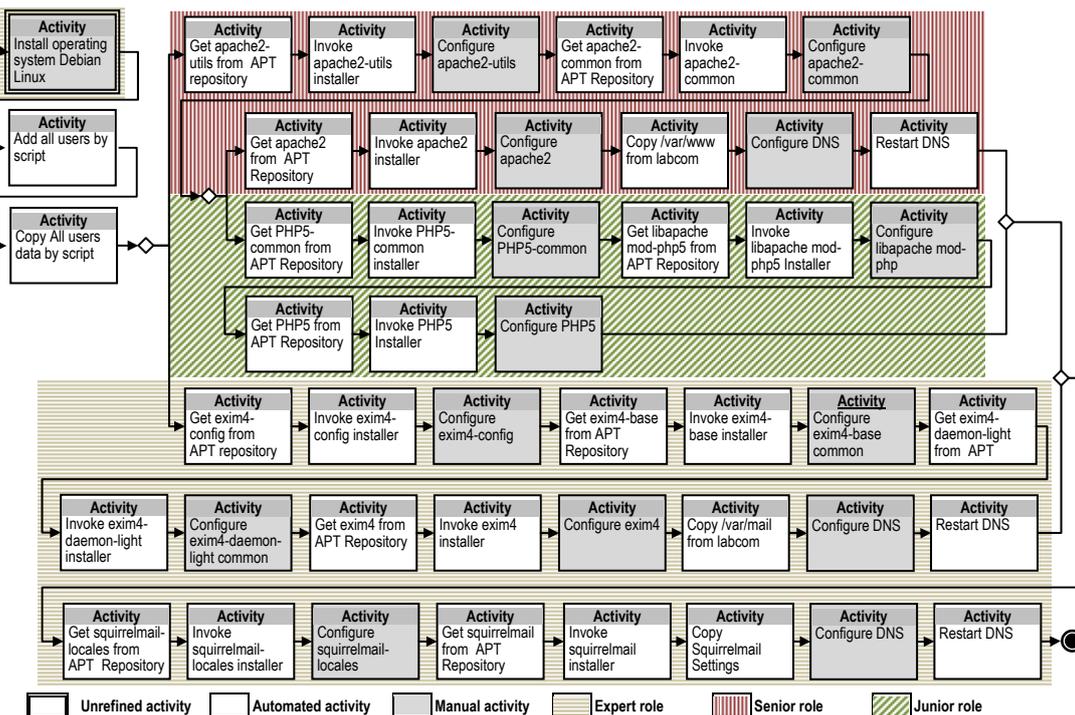


Figura 6. Plano de mudança detalhado para RFC de migração de servidor de e-mail

Para ilustrar o processo de alinhamento, considere o plano apresentado na Figura 6, gerado a partir da RFC *Migrate E-mail System* (introduzida na Figura 4). Os diferentes papéis de humanos alocados para a execução do plano são representados utilizando áreas hachuradas em torno das atividades, sendo as atividades com sombreamento cinza as que requerem intervenção humana. Nesse exemplo, há apenas um humano para cada papel definido em H , sendo *Expert*, *Senior* e *Junior*, em ordem decrescente de capacidade, os papéis utilizados. O plano apresentado obedece ao objetivo *ExecutionTime*, de acordo com o especificado na RFC. Note que as atividades relacionadas à instalação do *Exim4* (serviço de *e-mail*), e que requerem intervenção humana, possuem maior custo para serem executadas. Em função disso, essas possuem associado o melhor humano disponível (no caso, pertencente ao papel *Expert*). De forma análoga, a alocação de humanos é efetuada para as demais atividades do plano, levando em conta os paralelismos existentes, bem como os custos associados.

4. Implementação

A solução para o planejamento de mudanças em infra-estruturas de rede e serviços, apresentada na seção anterior, é materializada pelo protótipo de um sistema de suporte a decisão denominado CHANGEADVISOR. Esse sistema está acomodado no contexto do

CHANGELEDGE [Cordeiro 2008a], um *framework* para a gerência de mudanças com foco no reuso de conhecimento e automação. Nesta seção serão apresentados alguns dos aspectos principais do sistema implementado, bem como as interfaces do mesmo com os componentes conceituais do *framework* CHANGELEDGE.

O sistema CHANGEADVISOR, implementado utilizando a linguagem de programação Java, materializa as funcionalidades dos componentes *ChangeRefiner* e *ChangeAligner* (destacados na área cinza da Figura 1). As especificações de mudança consumidas pelo sistema são codificadas utilizando a linguagem XML, e processadas por meio da *Streaming API for XML* (StAX). A partir das especificações recebidas, o sistema gera, como saída, planos de mudança detalhados (*workflows* executáveis) codificados em XML e respeitando o padrão *Business Process Execution Language* (BPEL) [OASIS 2008]. É importante mencionar que a escolha por BPEL se deve à grande popularidade do padrão e a sua aderência para coordenar atividades distribuídas em infra-estruturas de rede.

A manipulação de dados sobre a infra-estrutura gerenciada, além da obtenção de informações sobre os pacotes de *software* disponíveis para o processo de mudança, é feita utilizando o *framework* para mapeamento objeto/relacional Hibernate. A persistência dos dados manipulados, por sua vez, é realizada pelo sistema de gerência de banco de dados MySQL. Para desacoplar as funcionalidades do sistema CHANGEADVISOR dos aspectos relativos à persistência e recuperação de dados, foi adotado o padrão de projeto *Data Access Object* (DAO).

A comunicação entre os componentes conceituais do *framework* CHANGELEDGE e o sistema CHANGEADVISOR é feita por meio de interfaces e padrões bem definidos e entendidos por ambas as partes. Entre as interfaces existentes, merecem destaque as que comunicam o sistema com os componentes *Change Designer* e *Deployment System*. No primeiro caso, o *Change Designer* gera documentos especificados em XML, adotando como padrão o mesmo *XML Schema* que o CHANGEADVISOR. No segundo caso, os documentos BPEL gerados pelo CHANGEADVISOR são consumidos pelo orquestrador ActiveBPEL, o qual implementa as funcionalidades do *Deployment System*. O leitor interessado em informações adicionais sobre a execução dos *workflows* e a interface necessária nos CIs para sua manipulação remota poderá encontrá-las em trabalho anterior publicado recentemente pelo nosso grupo de pesquisa [Machado 2008].

5. Avaliação Experimental

Para avaliar a viabilidade técnica do planejamento de mudanças em TI alinhado a propósitos de negócio, foram conduzidos diversos experimentos utilizando o sistema CHANGEADVISOR. Diferentes RFCs foram submetidas, com objetivos/restrições distintos, considerando uma mesma infra-estrutura de TI como base. Por limitação de espaço, a análise é concentrada em duas dessas mudanças. Como resultado da geração de planos detalhados, foram observados o alinhamento dos *workflows* produzidos aos propósitos de negócio (caracterizando uma análise mais qualitativa da solução proposta), bem como indicadores de desempenho (análise quantitativa).

A infra-estrutura de TI empregada na avaliação é composta por 3 servidores, *A*, *B* e *C* – sendo que apenas *A* tem um sistema operacional instalado, o *Debian GNU/Linux*. Há também três papéis de operadores disponíveis para assistir a execução das mudanças, cujos custos financeiros relativos à duração de sua alocação são descritos na Tabela 1. De acordo com a Tabela 1, considerando o custo de \$40 para um operador *Expert*, se esse operador for alocado por meia hora em uma atividade, tal alocação implicará na adição de \$20 para o custo financeiro de execução da respectiva mudança. Por fim, a Tabela 2 descreve os cenários empregados na avaliação, ressaltando a finalidade das RFCs adotadas, bem como seus respectivos objetivos/restrições.

Tabela 1. Papéis de operadores humanos disponíveis para alocação

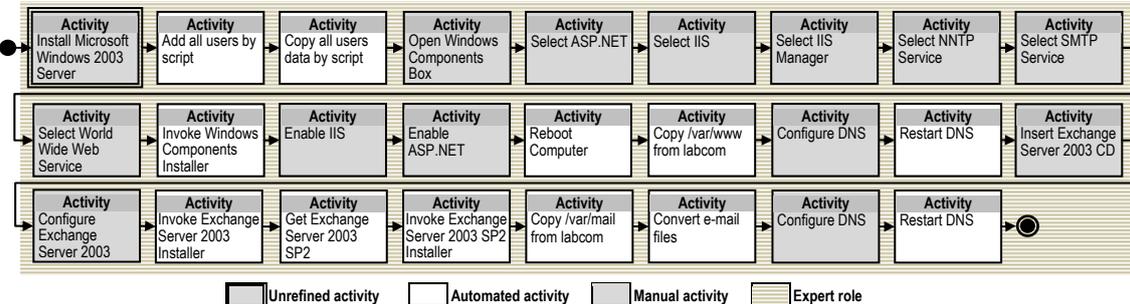
Papel	Número de operadores disponíveis	Custo de Alocação (\$ / hora)	ManPower / Hour
<i>Expert</i>	1	40	2
<i>Senior</i>	1	25	1,5
<i>Junior</i>	3	12	1

Tabela 2. RFCs empregadas durante a avaliação experimental

Cenário	RFC	Finalidade	Objetivo/Restrição Associada	Valor de Limiar
1	1	Migrar Serviço de <i>e-mail</i> do Servidor A para C	Diminuir Tempo Total de Implantação	120
2	1	Migrar Serviço de <i>e-mail</i> do Servidor A para C	Diminuir Custo com Alocação de Operadores	15
3	1	Migrar Serviço de <i>e-mail</i> do Servidor A para C	Nenhum	-
4	2	Instalar Aplicação Web no Servidor B	Diminuir Tempo Total de Implantação	120
5	2	Instalar Aplicação Web no Servidor B	Diminuir Custo com Alocação de Operadores	15
6	2	Instalar Aplicação Web no Servidor B	Nenhum	-

Uma visão parcial dos planos gerados para a RFC 1, nos cenários 1 e 2, é apresentada nas Figuras 6 e 7, respectivamente. Devido a restrições de espaço, o refinamento das atividades *Install Debian GNU/Linux* (Figura 6) e *Install Windows 2003 Server* (Figura 7) é suprimido em ambas as figuras. Ademais, estruturas de decisão são omitidas para facilitar a sua legibilidade. A ligação entre as atividades presentes nos planos ilustrados reflete a dependência entre os pacotes de *software* instalados, conforme identificado na DML. Por exemplo, para a instalação do *apache2* no *Debian GNU/Linux*, é necessário que as bibliotecas básicas do mesmo, providas pelo *apache2-common*, já estejam instaladas.

A partir das figuras apresentadas, observam-se as diferentes alocações de papéis para a execução das atividades *manuais*. Por exemplo, no cenário 1, a execução do plano de mudança requer três operadores com papéis distintos (um *Expert*, um *Senior* e um *Junior*) para que o objetivo especificado seja atingido. O plano do cenário 2, por sua vez, requer apenas um operador (*Expert*), de modo a satisfazer o objetivo especificado.

**Figura 7. Plano de mudança alternativo para RFC de migração de servidor de e-mail**

A Tabela 3 apresenta os custos associados à execução dos planos detalhados gerados para cada um dos cenários avaliados. Nessa tabela é possível verificar, comparativamente, que os planos detalhados são capazes de prover melhores resultados face aos objetivos/restrições especificados. Por exemplo, a RFC 1 pôde ser concretizada por dois planos distintos: um que possui tempo de execução baixo (118 min), embora apresentando alto custo de implantação (\$34,21), e outro que possui custo razoável (\$7,75), apesar de demandar mais tempo para sua execução (156 min).

A Tabela 3 apresenta, para efeito comparativo, planos alternativos não alinhados aos objetivos/restrições. Embora corretos, tais planos tendem a apresentar custos maiores em comparação às alternativas que seguem algum alinhamento. Por exemplo, o plano gerado para o cenário 3 tem custo com alocação de humanos estimado em \$45,98, valor 493% maior que o plano alinhado ao objetivo de minimização de tal custo. Tal pode ser explicado, por exemplo, pelos diferentes CIs envolvidos na mudança, em virtude dos diferentes refinamentos feitos para um mesmo plano preliminar. Esses, por sua vez, podem eventualmente implicar em atividades com diferentes tempos de duração, bem como em diferentes alocações de humanos (de papéis distintos).

Tabela 3. Número de atividades, tempo estimado de execução e custos de alocação para os planos detalhados gerados

Cenário	RFC	Atividades	Tempo Estimado de Execução (min)	Custo com Alocação de Humanos (\$)
1	1	69	118,75	34,21
2	1	38	156,12	7,75
3	1	68	157,08	45,98
4	2	52	75,5	18,73
5	2	39	211,31	10,42
6	2	49	250,75	28,43

Note que os valores de custos obtidos, se analisados individualmente, podem ser desprezíveis. No entanto, ao considerar a execução de diversas mudanças a longo prazo, tal alinhamento tem potencial para reduzir os custos de gerência e operação da empresa.

O desempenho do sistema CHANGEADVISOR para gerar os planos executáveis caracterizados acima é apresentado na Tabela 4. Executado em um computador equipado com um processador Intel® Core™ 2 Duo 2.33 GHz, 4.096 KB de memória *cache* e 2 GB de memória RAM, o sistema mostrou-se bastante eficiente, exigindo poucos segundos para gerar os planos. Também foi calculado um intervalo de confiança de 95% sobre os tempos medidos, considerando 10 repetições do processo de geração de planos de mudança. Conforme apresentado na Tabela 4, é esperado que o tempo de geração de planos varie minimamente para cada cenário. Esses resultados permitem observar que a solução além de gerar planos alinhados a propósitos de negócio, também tem potencial para reduzir, sensivelmente, o esforço e o tempo exigidos para tal.

Tabela 4. Tempo despendido na geração automática dos planos detalhados

Cenário	Tempo Total de Geração dos Planos Detalhados (ms)	Intervalo de Confiança do Processo de Geração de Planos Detalhados	
		Limite Inferior (ms)	Limite Superior (ms)
1	17.475	17.247	17.703
2	14.185	14.030	14.340
3	16.761	16.680	16.842
4	16.003	15.875	16.130
5	16.539	15.927	17.150
6	15.240	15.047	15.432

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

O planejamento de mudanças representa uma etapa fundamental para a gerência e a operação de infra-estruturas de redes e serviços. No entanto, as soluções existentes para auxiliar essa etapa não levam em consideração a geração de planos de mudança alinhados aos propósitos definidos em nível de negócio. Conseqüentemente, o planejamento e a execução de mudanças apresentarão pouca (ou nenhuma) sintonia com os objetivos/restrições demandados pelo solicitante. Para abordar esse problema, neste artigo é proposto o CHANGEADVISOR, uma solução para geração de planos de mudança consistentes com os objetivos/restrições especificados em nível de negócio.

Os resultados obtidos durante a avaliação experimental, embora não exaustivos, mostram os potenciais benefícios de se alinhar planos de mudança a propósitos de negócio. Conforme apresentado anteriormente, vários planos detalhados foram obtidos a partir de uma mesma RFC, cada um atendendo a requisitos específicos de tempo e custo de execução. Pôde-se observar, ainda, que os planos gerados foram sensivelmente diferentes tanto em forma (atividades componentes), quanto em custos agregados (tempo e custo financeiro). Por fim, a geração de planos detalhados que atendem às demandas do solicitante mostrou-se exequível e muito eficiente. Tal pôde ser observado pelo tempo despendido na geração dos mesmos, o qual ficou na ordem de segundos. Esse tempo certamente é de grandeza menor que o tempo que seria gasto por um operador experiente, projetando os mesmos planos utilizando um editor de *workflow*. É natural que, para aproveitar o potencial de um sistema para o planejamento de mudanças, é preciso contar com um modelo completo e atualizado da infra-estrutura de

redes e serviços da organização. Estratégias e ferramentas para satisfazer esse requisito não fizeram parte da investigação apresentada neste artigo, mas são plenamente alcançáveis. Tal convicção advém do fato de que modelo como esse é apresentado como fundamental pela ITIL, biblioteca amplamente adotada em organizações de pequeno, médio e, sobretudo, grande portes.

Como trabalhos futuros, pretende-se (i) investigar estratégias para aperfeiçoar o algoritmo de alinhamento de mudanças proposto neste artigo, possivelmente adotando conceitos de inteligência artificial, (ii) estender o escopo do processo de alinhamento de mudanças, levando em conta objetivos/restrições de negócio diversos, e (iii) adotar heurísticas que permitam a adequação dos planos gerados a mais de um objetivo/restrição de negócio simultaneamente.

Referências

- Banyahia, H. (1996) "Costs and Productivity Estimation in Computer Engineering Economics". *Engineering Economist*, v. 41, n. 3, p. 229-241.
- Brown, A. B.; Keller, A. (2006) "A Best Practice Approach for Automating IT Management Processes". In: *IFIP/IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS 2006)*, p. 33-44.
- Cordeiro, W.; Machado, G.; Daitx, F. *et al.* (2008) "A Template-based Solution to Support Knowledge Reuse in IT Change Design". In: *IFIP/IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS 2008)*, p. 355-362.
- Cordeiro, W.; Machado, G.; Andreis, F. *et al.* (2008) "A Runtime Constraint-Aware Solution for Automated Refinement of IT Change Plans". In: *IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operations and Management (DSOM 2008)*, p. 69-82.
- Distributed Management Task Force. DMTF. (2008) Common Information Model. <http://www.dmtf.org/standards/cim>.
- Information Technology Infrastructure Library. ITIL. (2008) Office of Government Commerce (OGC). <http://www.itil-officialsite.com>.
- IT Infrastructure Library: ITIL Service Transition, v.3 (2007) London: The Stationery Office, 2007, 270 p.
- Jorgensen, M.; Shepperd, M. (2007) "A Systematic Review of Software Development Cost Estimation Studies". *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 33, n. 1, p. 33-53.
- Keller, A.; Hellerstein, J. L.; Wolf, J. L. *et al.* (2004) "The CHAMPS System: Change Management with Planning and Scheduling". In: *IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS 2004)*, p. 395-408.
- Keller, A. (2005) "Automating the Change Management Process with Electronic Contracts". In: *IEEE International Conference on E-Commerce Technology Workshops (CECW 2008)*, p. 99-108.
- Machado, G.; Cordeiro, W.; Santos, A. *et al.* (2008). "Algoritmo para Geração Automática de Ações de Rollback em Sistemas de Gerenciamento de Mudanças em TI". In: *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC 2008)*, p. 107-120.
- Moura, A.; Sauv e, J.; Bartolini, C. (2008) "Business-driven IT Management - Upping the Ante of IT: Exploring the Linkage between IT and Business to Improve both IT and Business Results". *IEEE Communications Magazine*, v. 46, n. 10, p. 148-153.
- Organization for the Advancement of Structured Information Standards. OASIS. (2008) "Business Process Execution Language, version 2.0". <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0>.
- Pillai, K.; Sukumaran Nair, V. S. (1997) "A Model for Software Development Effort and Cost Estimation". *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 23, n. 8, p. 485-497.
- Rebouças, R.; Sauv e, J.; Moura, A. *et al.* (2007) "A Decision Support Tool to Optimize Scheduling of IT Changes". In: *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2007)*, p. 343-352.
- Rodosek, G. D. (2003) "A Generic Model for IT Services and Service Management". In: *IFIP/IEEE International Integrated Network Management (IM 2003)*, p. 171-184.
- Shepherd, M. (1977) "Special Feature Distributed Computing Power: a Key to Productivity". *IEEE Computer*, v. 10, n. 11, p. 66-74.
- Trastour, D.; Rahmouni, M.; Bartolini, C. (2007) "Activity-Based Scheduling of IT Changes". In: *International Conference on Autonomous Infrastructure, Management and Security (AIMS 2007)*, p. 73-84.