Avaliação por experiência de usuário de ferramentas que apoiam a engenharia de requisitos no contexto de Micro e Pequenas Empresas

Adailton F. Araújo[1], **Juliano L. Oliveira** [1], **Bruno N. Machado**[1], **Almir F. Silva** [2], **Jailton A. Louzada** [2], **Paulo M. S. Rodrigues** [2]

[1]Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
74001-970 – Goiânia – GO – Brasil

[2]Decisão Sistemas
Rua Uberaba Qd 77 Lt 9 Jd Luz 74915-440 – Goiânia – GO – Brasil

{adailton,juliano,brunonunes}@inf.ufg.br

{almir,jailton,paulomarcos}@decisaosistemas.com.br

Abstract. *Research in Software Requirements Engineering (SRE) have developed solutions to various problems of the area. However, such solutions are focused to the environments of large organizations. This paper answers the following research question: The existing tools to support the SRE are appropriate to the context of MSEs producing software? To answer this question was made an selection and empirical assessment of tools for SRE, based on characteristics presented by the ISO 24766 standard. The results showed that the evaluated tools are inappropriate for the needs of MSEs. The obtained findings confirm and extend similar results from the literature and point to the need to evolve the ERS tools to contemplate the idiosyncrasies of MSEs.*

Resumo. *As pesquisas em Engenharia de Requisitos de Software (ERS) têm desenvolvido soluções para diversos problemas da área. Todavia, tais soluções são focadas para os ambientes das grandes organizações. Este trabalho responde a seguinte questão de pesquisa: As ferramentas existentes para apoiar a ERS são adequadas para o contexto de MPEs produtoras de software? Para responder essa questão foi realizada uma seleção e avaliação empírica de ferramentas para ERS, com base em características apresentadas pela norma ISO 24766. Os resultados apontaram que as ferramentas avaliadas não são apropriadas para as necessidades das MPEs. As conclusões obtidas confirmam e estendem resultados similares disponíveis na literatura e apontam a necessidade de evoluir as ferramentas ERS para contemplarem as idiossincrasias das MPEs.*

1. Introdução

Organizações de pequeno porte representam 99,2 % da indústria de software mundial [Qyser et al. 2008] e 93% da indústria de software brasileira [ABES 2014]. Apesar desses números, em geral, organizações de pequeno porte que atuam na produção de software enfrentam muitas dificuldades para serem reconhecidas como desenvolvedoras de

software de qualidade [Laporte et al. 2008]. Um dos fatores chave para obter essa qualidade é a Engenharia de Requisitos de Software (ERS), uma disciplina da Engenharia de Software que envolve a descoberta, documentação e evolução dos requisitos de um produto de software [Hull et al. 2011].

A complexidade e dimensão dos softwares atuais exigem que a ERS seja apoiada por ferramentas de software apropriadas. O mercado atual disponibiliza diversas ferramentas de apoio a ERS. Todavia, essas ferramentas para ERS não consideram a realidade de uma micro ou pequena empresa (MPE), que diferentemente de grandes organizações, as MPEs possuem recursos humanos limitados, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos, para desempenhar o processo de ER. Por isso, as MPEs demandam processos e ferramentas prescritivos e prontos para usar, pois não possuem recursos disponíveis para customizações. Além do custo direto das mudanças, as customizações exigem esforço adicional para garantir a integração e consistência das características customizadas. Uma MPE não possui recursos humanos capacitados para isso.

Nessa linha, verificou-se que poucos trabalhos têm sido conduzidos com foco na avaliação dessas ferramentas. Além disso, os estudos disponíveis são limitados quanto à representação da realidade atual das ferramentas para ERS, ou quanto à adoção de diretrizes objetivas para avaliação de ferramentas [Carrillo De Gea et al. 2012]. Dessa forma, há pouco conhecimento sobre ferramentas para ERS e, quando se considera a realidade de pequenas organizações desenvolvedoras de software, esse conhecimento é ainda menor.

O objetivo deste artigo é diminuir essa lacuna de conhecimento, identificando e avaliando ferramentas que apoiam a ERS e, mais especificamente, considerando os diferenciais de organizações de pequeno porte com relação à execução do processo de ERS. Nesse sentido, destaca-se como contribuição deste trabalho de pesquisa a apresentação de um panorama consolidado de ferramentas para ERS sob a ótica de capacidades voltadas para o contexto de organizações classificadas como micro ou pequenas empresas produtoras de software. O restante do artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 descreve a metodologia de pesquisa empregada. A Seção 3 apresenta os resultados obtidos na avaliação empírica das ferramentas. A Seção 4 analisa e discute esses resultados, estabelecendo um mapeamento do conhecimento sobre ferramentas de ERS e sua adequação ao contexto de MPE. Por fim, a Seção 5 sintetiza as contribuições e conclusões deste trabalho e indica direções para trabalhos futuros.

2. Metodologia

Os resultados apresentados neste artigo foram desenvolvidos no contexto de um projeto de pesquisa maior, cuja metodologia compreende as seguintes fases: (1) mapeamento sistemático da literatura para identificar o estado da arte no processo de ERS; (2) seleção de ferramentas de software que apoiam esse processo; (3) identificação de particularidades desse processo quando aplicado no contexto de MPE; (4) síntese de características de ferramentas para ERS que contemplam essas particularidades; (5) avaliação empírica da adequação das ferramentas selecionadas a essas características; (6) comparação entre ferramentas para identificar as mais adequadas ao contexto de MPE; e (7) avaliação empírica de ferramentas para confirmar sua adequação ao contexto de MPE e para identificar possíveis pontos de melhoria. Por limitações de espaço, o presente artigo discute exclusivamente os resultados da quinta fase desse projeto de pesquisa. O restante desta

seção sintetiza alguns dos resultados de fases anteriores que são necessários para compreender a avaliação de ferramentas descrita neste artigo.

O ponto de partida para classificar características de ferramentas para ERS foi o guia apresentado em [ISO/IEC/IEEE 2009]. Esse guia descreve cerca de cento e cinquenta recursos que uma ferramenta de ERS deveria oferecer e, consequentemente, o conjunto de atividades que as ferramentas deveriam apoiar. Ele classifica esses recursos em cinco categorias relacionadas a ERS (eliciação, análise, especificação, verificação e validação, e gerência de requisitos) e define uma categoria para outros tipos de recursos.

No entanto, o conjunto de capacidades definidas pelo guia é muito extenso e complexo para ser aplicado em MPE. Assim, optou-se por elencar um subconjunto de características essenciais para o contexto de MPE, tendo como base as características originais do guia. A extração desse subconjunto de características foi realizada nas duas etapas descritas a seguir.

Na primeira etapa, a lista de características foi avaliada por três professores pesquisadores, que possuem mais de cinco anos de experiência prática e de pesquisa com ERS, sendo um doutor e dois mestres. Nesta etapa, cada pesquisador avaliou individualmente o nível de adequação de cada característica ao contexto de MPE, usando os seguintes parâmetros: Indispensável, Muito importante, Importante ou Dispensável. Logo em seguida, houve uma reunião entre os pesquisadores para avaliar os pontos de divergência entre as respostas dos três pesquisadores. Nesta reunião cada avaliador expôs suas justificativas para suas avaliações, onde chegou-se a um senso comum sobre as avaliações que possuíam divergências.

Na segunda etapa, o subconjunto de características classificadas como Indispensável e Muito Importante, na primeira etapa, foi avaliado por cinco profissionais, sendo três especialistas e dois mestrandos, que já atuaram com ERS em MPEs e participaram de uma revisão sistemática sobre o tema, que avaliou mais de 500 trabalhos científicos. Nesta etapa, cada profissional avaliou individualmente o nível de adequação de cada característica ao contexto de MPE, usando os mesmos parâmetros da primeira etapa. Além desta classificação, o profissional também teve a opção de indicar se sentiu falta de mais alguma característica. A lista de sugestões também foi avaliada por todos os profissionais. Ao final, as características avaliadas como Indispensável e Muito Importante, pela maioria dos profissionais, constituíram a lista final, com as trinta características listadas na Tabela 1.

A busca por ferramentas para ERS foi realizada por meio do mapeamento da literatura que identificou um trabalho recente que descreve um conjunto de ferramentas relevantes para ERS [Carrillo De Gea et al. 2012]. Dentre essas ferramentas foram avaliadas no presente trabalho todas as que ofereciam acesso livre ou versão de demonstração. A Tabela 2 identifica as ferramentas avaliadas.

Um critério fundamental adotado na avaliação das ferramentas foi o de levar em consideração apenas funcionalidades predefinidas nas ferramentas para atendimento específico de cada característica avaliada. Logo, não foi considerada qualquer forma de adaptação ou de criação de novas funções e tampouco foram avaliadas soluções de contorno oferecidas pela ferramenta para atender determinada característica. Esse critério de avaliação se baseia no fato de que MPE precisam de ferramentas que possam ser aplica-

Tabela 1. Características Relevantes para ERS em MPE

Categoria	Características
Elicitação (EL)	EL1-Descrever o Mundo Real (Domínio do Problema); EL2-Manter glossário de conceitos; EL3-Identificar e classificar stakeholders; EL4-Associar arquivos com necessidades e requisitos identificados; EL5-Priorizar requisitos; EL6-Editar relações entre requisitos; EL7-Apoiar técnicas de eliciação de requisitos.
Análise (AN)	AN1-Descrever o Software (Domínio da Solução); AN2-Identificar e classificar modelos associados aos requisitos; AN3-Editar atributos para descrever requisitos; AN4-Editar protótipos de requisitos; AN5-Reutilizar especificações de requisitos.
Especificação (ES)	ES1-Manter templates para especificação de requisitos; ES2- Ordenar os requisitos em documento de especificação de requisitos; ES3-Visualizar e exportar documento de especificação de requisitos.
Verificação e Validação (VV)	VV1-Verificar a qualidade técnica dos requisitos; VV2-Validar (aprovar) requisitos individualmente ou por grupo.
Gerência (GE)	GE1-Controlar o acesso aos requisitos; GE2-Controlar mudanças em baselines de requisitos; GE3-Controlar o versionamento de requisitos; GE4-Controlar conteúdo das baselines de requisitos; GE5-Manter rastreabilidade entre requisitos e outros produtos de trabalho.
Outros Recursos (OT)	OT1-Executar em múltiplas plataformas; OT2-Oferecer mecanismos de busca flexíveis; OT3-Prover usabilidade e qualidade em uso; OT4-Editar documentos cooperativamente; OT5-Realizar comunicações relacionadas ao processo de ERS; OT6-Prover ambiente de projeto para ERS; OT7-Orientar o processo de ERS; OT8-Corrigir ortografia de textos.

Tabela 2. Ferramentas Avaliadas

ID	Ferramenta	Versão	Link
F1	Caliber RM	11.3	http://www.borland.com/Products/ Requirements-Management
F2	Cameo Requirements+	18.0	http://www.magicdraw.com/cameoreq
F3	CaseComplete	9.2.5332	http://casecomplete.com/
F4	DOORS	5.0	http://www-01.ibm.com/ software/awdtools/doors/
F5	Enterprise Architect	1107	http://www.sparxsystems.com/ products/ea/
F6	Jama	3.6.3	http://www.jamasoftware.com/
F7	OSRMT	1.5	http://sourceforge.net/projects/osrmt/
F8	Polarion	3.8.3	http://www.polarion.com/products/ requirements/index.php
F9	QPack	6.0.3.72	http://www.orcanos.com/ Requirements_management.html
F10	RaQuest	4.1	http://www.raquest.com/
F11	ReqMan	indefinida	http://www.requirementone.com
F12	Rommana	14.2	http://www.rommanasoftware.com/
F13	Serena	3.2.1	http://www.serena.com/index.php/ en/products/other-products/ prototype-composer/
F14	SpiraTeam	4.1.0.5	http://www.inflectra.com/ SpiraTest/Default.aspx
F15	TraceCloud	indefinida	http://www.tracecloud.com
F16	TrackStudio	3.5	http://www.trackstudio.com/
F17	Visual Studio	2013.2	https://www.visualstudio.com/

das de forma simples e direta, pois não há recursos humanos disponíveis para lidar com adaptação de ferramentas. Dessa forma, a avaliação verificou, para cada característica, se a ferramenta apresenta funcionalidade pronta para ser utilizada.

O grau de atendimento de cada característica em cada ferramenta foi avaliado com base em uma escala de quatro valores: T para característica totalmente atendida; L para largamente; P para parcialmente; e N para característica não atendida. Essa avaliação seguiu o seguinte procedimento em cada ferramenta avaliada:

1. Obtenção da ferramenta: instala a ferramenta, quando necessário, e efetua a sua

configuração inicial (usuário, permissões, preferências, etc.). Para ferramenta proprietária (com restrições de acesso) foi considerada apenas a versão de demonstração disponibilizada pelo fornecedor.
2. Ambientação com a ferramenta: explora os recursos funcionais e a documentação de apoio disponível para a ferramenta, sem foco nas características a serem avaliadas.
3. Avaliação da ferramenta: pesquisa as funcionalidades relacionadas com cada característica, explorando a interface, a documentação e o portal da ferramenta (se disponível).
4. Classificação da ferramenta: classifica cada característica em relação ao grau de atendimento pela ferramenta, conforme a escala definida.
5. Registro da avaliação: documenta os aspectos relevantes de cada ferramenta em relação a cada característica avaliada.

A avaliação empírica de cada ferramenta em relação às características essenciais de ERS apontadas para o contexto de MPE gerou uma matriz com 510 células valoradas com T, L, P ou N, correspondendo a 30 características avaliadas em 17 ferramentas. Após essa avaliação, realizou-se uma análise quantitativa e qualitativa dos resultados, a fim de identificar correlações e tendências relacionadas ao atendimento das características avaliadas pelo conjunto de ferramentas disponíveis para ERS. Os resultados dessas análises são descritos no restante deste artigo.

3. Resultados das Avaliações

Esta seção apresenta os resultados da avaliação qualitativa das características identificadas na Tabela 1 nas ferramentas selecionadas para avaliação, definidas na Tabela 2. As avaliações estão agrupadas de acordo com as categorias de requisitos para ferramentas de ERS propostas em [ISO/IEC/IEEE 2009].

3.1. Eliciação de Requisitos

A Eliciação de Requisitos identifica os stakeholders envolvidos no Domínio do Problema e descreve suas expectativas e necessidades com relação ao software que é objeto do processo de ERS [Burnay et al. 2014].

EL1 - Descrever o Domínio do Problema: o Domínio do Problema também é referenciado na literatura como ambiente do sistema, domínio de aplicação, contexto do problema, entre outros termos. Independentemente do termo usado para designar o Domínio do Problema, há consenso de que é essencial para a ERS a descrição explícita dos conceitos do mundo real em que o software irá atuar. Apesar de ser uma característica essencial para a ERS, as ferramentas analisadas não oferecem funcionalidades específicas para apoiar a descrição do Domínio do Problema.

EL2 - Manter glossário de conceitos: F1, F2, F4, F5 e F10 oferecem funcionalidades para manter um glossário de dados. Tipicamente, o usuário identifica e explica os termos usados no sistema por meio de formulários de cadastro de termos.

EL3 - Identificar e classificar stakeholders: das ferramentas avaliadas, apenas F4 oferece apoio a identificação e classificação de stakeholders. Nela é possível, por exemplo, atribuir todos os stakeholders ao criar um projeto e customizar e-mails com textos predefinidos por projeto, bem como monitorar e rastrear as iterações dos stakeholders na ferramenta. As demais ferramentas oferecem apenas mecanismos genéricos para cadastro de usuários e/ou membros do Projeto.

EL4 - Associar arquivos com necessidades e requisitos identificados: F10 e F13 não permitem anexar e associar arquivos. Já as ferramentas F1, F3, F5, F6, F7, F9, F11, F12, F14, F15, F16 e F17 permitem anexar e associar arquivos aos requisitos na forma de objeto, ou seja, o arquivo anexado não se torna um artefato independente e rastreável. F2 e F8 possibilitam a incorporação de arquivos e imagens que podem ser observados dentro dos artefatos criados na ferramenta.

EL5 - Priorizar requisitos: somente F10 oferece apoio específico para priorização de requisitos. As demais ferramentas apresentam apenas um atributo do requisito onde pode ser atribuído o valor que representa sua prioridade.

EL6 - Editar relações entre requisitos: com exceção de F9 e F16, todas as ferramentas oferecem algum apoio à edição de relações entre requisitos. Nessas ferramentas as ligações entre requisitos podem ser realizadas no momento em que cada requisito é identificado ou posteriormente.

EL7 - Apoiar técnicas de eliciação de requisitos: diversas técnicas podem ser aplicadas no processo de ERS. Na avaliação das ferramentas foram observadas as seguintes técnicas: 1) Análise de Domínio; 2) Análise de Cenários; 3) Entrevista e Questionário; 4) Análise de Documentos; 5) Etnografia; 6) Workshop, JAD, Brainstorming e outros tipos de reuniões; 7) Análise Orientada a Objetos e 8) Análise de Processos de Negócio.

As técnicas 1, 2, 5 e 6 não são apoiadas pelas ferramentas avaliadas. Já a técnica 2 é apoiada por F3, F5 e F13. A técnica 3 é apoiada por F1, F11 e F17. As técnicas 7 e 8 são apoiadas apenas por F4, F5 e F8.

3.2. Análise de Requisitos

A Análise de Requisitos define modelos para a solução de software que atende as necessidades identificadas [ISO/IEC/IEEE 2011].

AN1 - Descrever o Software (Domínio da Solução): enquanto o Domínio do Problema estabelece o escopo de necessidades para a ERS, o Domínio da Solução define as características essenciais do software que precisa ser construído para atender a essas necessidades. Da mesma forma que as ferramentas não contemplam diretamente a descrição do Domínio do Problema, elas também não oferecem funcionalidades específicas para apoiar a descrição do Domínio da Solução.

AN2 - Identificar e classificar modelos associados aos requisitos: todas as ferramentas avaliadas fornecem algum apoio à identificação de requisitos com base em modelos, que podem ser simples, contendo apenas título e descrição do requisito, ou sofisticados, com diversas seções e usando metadados personalizados. F1, F6, F9, F12, F15, F16 e F17 não oferecem apoio direto para classificação de requisitos, embora F1, F15 e F16 permitam criar uma estrutura hierárquica de pastas para classificar requisitos. F2 e F7 oferecem formulários para escrever requisitos, anexar imagens, e criar tabelas, além de prover uma barra de ferramenta para edição. F7 permite criar requisitos com tipos predefinidos, no entanto não é possível alterar o tipo do requisito após sua criação. F3, F5, F8, F10, F11, F13 e F14 oferecem um campo para indicar o tipo do requisito, permitindo a classificação dos requisitos em funcionais ou não funcionais e suas subclassificações. F8 trabalha com o mecanismo de selecionar declarações textuais e transformá-las em requisitos. Para realizar a classificação, é necessário criar uma seção ou um documento que

irá abordar determinado tipo (ou classe) de requisito. F4 permite criar requisitos a partir de outros requisitos e a classificação de requisitos ocorre de diversas maneiras. É possível criar e classificar tipos de requisitos e atribuir modelos aos tipos criados.

AN3 - Editar atributos para descrever requisitos: F2, F3, F6, F10, F12, F13, F14 e F17 apresentam um conjunto de atributos nativos para descrição de requisitos, e não permitem a criação de novos atributos. F1, F4, F5, F7, F11, F15 e F16 oferecem atributos nativos e também permitem a criação de novos atributos para cada requisito.

AN4 - Editar protótipos de requisitos: F1, F2, F3, F6, F7, F8, F9, F10, F11, F12, F14, F15 e F16 não oferecem apoio à prototipação. F17 permite criar protótipos e vinculá-los a requisitos para serem utilizados por outros interessados, mantendo a rastreabilidade desses artefatos no projeto. F4 e F5 permitem a criação de *wireframes* e protótipos estáticos que podem ser usados como esboços no projeto de requisitos, mantendo a rastreabilidade de artefatos diversos com os protótipos ou esboços de tela. F13 oferece apoio completo à técnica de prototipação, desde a confecção das interfaces até sua aplicação em um fluxo de atividades, sendo também possível a criação de fluxos de decisões dentro do fluxo de atividades.

AN5 - Reutilizar especificações de requisitos: F6 é a única ferramenta avaliada que oferece apoio à reutilização de requisitos. Nela o reúso é feito por meio da sincronização de itens de requisitos.

3.3. Especificação de Requisitos

A Especificação de Requisitos documenta e apresenta, de diferentes maneiras, informações sobre os requisitos relevantes para diferentes stakeholders [IEEE 1998].

ES1 - Manter Templates para especificação de requisitos: F3, F6, F7, F9, F10 e F12 não definem templates para documentação de requisitos. F1, F14, F15, F16 e F17 não oferecem templates próprios, mas permitem a importação de templates externos. F13 oferece seis templates de documentação (dicionário de dados, matriz de requisitos, fases de processos, fluxos de atividades, mapa de processo, e interface de usuário), mas esses templates não são parametrizáveis. F11 oferece dois templates predefinidos de relatórios, um no formato doc e outro em formato xls. F8 traz um template padrão que pode ser adaptado pelo usuário. Na exportação do documento, é possível atribuir permissões para definir como outros stakeholders podem interagir com o documento. EM F5, além da visualização em forma de relatórios, há opção para visualização gráfica das informações a partir de um modelo. Os gráficos podem ser gerados dinamicamente, com base em informações selecionadas pelo usuário. F2 permite importação e criação de templates de documentação usando html e oferece uma linguagem própria a fim de desenvolver template customizado. F4 disponibiliza templates que seguem padrões predefinidos (como IEEE, RUP, e Metodologia Ágil).

ES2 - Ordenar os requisitos em documento de especificação de requisitos: F1, F2, F4, F7, F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16 e F17 não apresentam suporte a esse tipo de funcionalidade. F5 permite alterar a ordem e o agrupamento das informações que compõem determinado template, exibindo uma lista para seleção das informações que irão compor o documento.

ES3 - Visualizar e exportar documento de especificação de requisitos: F10 não permite visualizar ou exportar documento de requisitos. F2, F3, F6, F7, F8, F9, F11, F12 e F13 não oferecem mecanismos de visualização do documento, mas oferecem mecanismos para exportação dos requisitos. F2, F7 e F9 permitem exportar requisitos no formato html. Além desse formato, F7 também exporta no formato pdf. F13 exporta diferentes artefatos, porém em um único formato (doc). F11 exporta apenas os requisitos especificados, ou seja, não é possível exportar outros dados, sendo oferecidos apenas dois formatos (doc e o xls). F8 exporta nos formatos docx, pdf e rtf. No formato docx a ferramenta oferece a possibilidade de atribuir permissões de leitura e escrita no documento exportado. F1, F4, F5, F14, F15, F16 e F17 oferecem mecanismos tanto para pré-visualização de informações gerenciadas pela ferramenta quanto para exportação dos requisitos em artefatos. F16 exporta os requisitos apenas em formato pdf e essa exportação acontece apenas para requisitos individuais, sem a possibilidade de exportação de um conjunto de requisitos. F4 permite exportar requisitos em diversos formatos (pdf, doc, html e csv). Já F5 permite exportar nos formatos docx, rtf e pdf.

3.4. Verificação e Validação de Requisitos

Verificação e Validação estão relacionadas à qualidade dos requisitos. A Verificação avalia a viabilidade técnica de um conjunto de requisitos enquanto a validação registra o comprometimento dos stakeholders com esses requisitos [ISO/IEC/IEEE 2011].

VV1 - Verificar a qualidade técnica de requisitos: das ferramentas avaliadas, apenas F4 oferece mecanismos específicos para verificação de requisitos. Ela permite disponibilizar verificações para um ou mais stakeholders, e fornece funções para acompanhar e realizar verificações de requisitos.

VV2 - Validar (aprovar) requisitos individualmente ou por grupo: F3, F7, F11, F10, F12 e F13 oferecem mecanismos de validação somente para requisitos individuais, por meio de um campo de ”status”do requisito. F17 cria tarefas para cada demanda de requisito, e uma dessas tarefas pode ser a de validação. Logo, as validações dos requisitos são registradas nas tarefas e não nos requisitos. F14, F15 e F16 permitem que comentários sejam adicionados aos requisitos, contudo não permitem que eles sejam aplicados em um conjunto de requisitos, ou direcionam os comentários apenas para os donos/autores dos requisitos, excluindo outros envolvidos no projeto. F1 permite que um usuário envie comentários para os demais stakeholders sobre validação de requisitos. F5, F8 e F9 oferecem mecanismos para comentar ou justificar a validação de cada requisito. F9 permite o envio de convites para outros usuários visualizarem e inserirem comentários sobre requisitos. F5 oferece um meio para auditar um conjunto de requisitos, permitindo criar um documento com os requisitos a serem auditados e criar o pontos para serem usados como critério de auditoria. F6 permite controlar a validação individual de requisitos. Cada envolvido pode adicionar comentários a respeito de um cenário específico, marcar um requisito como ”aprovado”ou indicar que “necessita de mais trabalho”, além de haver suporte a votação. Existe também um contador para medir o tempo gasto em cada validação. F4 permite atribuir atividades de validação para indivíduos ou grupos envolvidos no projeto, sendo possível acompanhar o andamento da atividade, o percentual concluído e os comentários inseridos por cada stakeholder.

3.5. Gerência de Requisitos

A Gerência de Requisitos estabelece baselines de requisitos e controla mudanças nessas baselines com base em informações de rastreabilidade de requisitos [ISO/IEC/IEEE 2011].

GE1 - Controlar o acesso aos requisitos: F2, F10 e F13 não oferecem funcionalidades apropriadas ao controle de acesso. F1, F5, F6, F7, F8, F9, F11, F12, F14, F15, F16 e F17 implementam controle de acesso permitindo criar usuários e adicionar permissões individuais ou por grupo. F4 permite o cadastro de usuários com base em perfis de acesso, de maneira que cada usuário ou grupo de usuários pode atuar na escrita ou somente na visualização dos requisitos.

GE2 - Controlar mudanças em baselines de requisitos: F2, F3, F7, F9, F11, F13, F15 e F16 não possuem funcionalidades para controle de mudança em baseline. F5, F8 e F10 permitem definir baselines, identificando-as com nome e versão. Além disso, elas permitem emitir relatórios do conteúdo de baselines, ou restaurar o projeto para alguma baseline definida. F14 permite ainda que as baselines criadas sejam gerenciadas usando diversos atributos. F12 oferece suporte à gestão de baselines por meio de controle de versões de iterações. Porém, ela não oferece opção de geração de relatórios contrastando baselines. F6 oferece esses relatórios, detalhando as atualizações de itens inseridos e deletados. F1 permite a criação de baselines e possibilita enviar um e-mail a cada alteração ocorrida. F17 permite a criação de baselines e também que várias baselines sejam acessadas para a verificação de mudanças. F4 permite a criação e consulta aos dados das baselines criadas.

GE3 - Controlar o versionamento de requisitos: F2, F3, F7, F8, F9, F11, F12, F13, F15 e F16 não apoiam versionamento dos requisitos. F1, F4, F5, F6, F10 e F14 possuem funcionalidades de versionamento similares, permitindo que as versões sejam recuperadas por usuários com as devidas permissões. F17 permite, além de seu mecanismo de versionamento nativo, a integração com repositórios de versionamento externo, como GitHub.

GE4 - Controlar o conteúdo das baselines de requisitos: F2, F3, F7, F9, F11, F13 e F15 não oferecem funcionalidades específicas para controle de conteúdo de baselines de requisitos. F1, F4, F5, F8, F10, F12, F14 e F17 oferecem esse controle, identificando univocamente as baselines, definindo seus respectivos conteúdos e fornecendo relatórios sobre esse conteúdo. F6 permite, ainda, emissão de relatórios para comparar versões de diferentes baselines e acompanhar a evolução de alterações nessas baselines.

GE5 - Manter rastreabilidade entre requisitos e outros produtos de trabalho: F1, F2, F3, F4, F6, F7, F8, F9, F11, F12, F13 e F16 não apresentam funcionalidades específicas para apoiar a manutenção de informações de rastreabilidade de requisitos para outros produtos de trabalho do software. F14 e F15 fornecem rastreabilidade apenas entre requisitos e artefatos de teste de software. É possível criar vínculos entre eles e gerar relatórios sobre estes vínculos. F13 permite criar ligações entre requisitos (rastreabilidade horizontal), e também dos requisitos com interfaces e fluxos de atividades (rastreabilidade vertical). F5 permitir criar relações com todos os artefatos internos, bem como com artefatos externos, por meio de plugins e extensões para outras ferramentas. F17 fornece um ambiente completo de desenvolvimento de software, permitindo que os requisitos possam

ser associados a outros produtos de trabalhos.

3.6. Outros Recursos - Ambiente para Engenharia de Requisitos

Além de prover suporte às cinco categorias funcionais do processo de ERS, uma ferramenta deveria oferecer um ambiente integrado para o trabalho colaborativo sobre requisitos de software [ISO/IEC/IEEE 2009]. Esse ambiente compreende características não-funcionais discutidas a seguir.

OT1 - Executar em múltiplas plataformas: F1, F2, F3, F5, F10 e F13 são ferramentas desktop e funcionam em plataforma MS-Windows. F1 também executa em Apple Mac OS X, enquanto F2, desenvolvida em Java, pode ser utilizada em outras plataformas. F7 e F17 possuem uma parte desktop, que executa apenas em ambiente MS-Windows, e uma parte web multiplataforma. Em F7 a versão web permite somente consulta de artefatos e visualização de dados do projeto. F4, F6, F8, F9, F11, F12, F14, F15 e F16 são ferramentas totalmente web e por isso foram classificadas como multiplataforma (no lado cliente).

OT2 - Oferecer mecanismos de busca flexíveis: F3, F11 e F12 não oferece funcionalidades específicas para busca de informações. F7, F8, F13 e F16 oferecem apenas um campo geral para pesquisa em todo o projeto. F1 e F15 fornecem busca por palavra chave e pelo ID do requisito. F14 permite a busca por todos os tipos de atributos relacionados com os requisitos. F17 permite combinar vários atributos através de expressões lógicas para obter uma busca direcionada. F9 tem um mecanismo de busca baseado em filtro aplicado em documento, defeito, caso de teste, dentre outros artefatos, mas não permite buscar o conteúdo presente em determinado requisito. F6 oferece suporte à busca por meio de um filtro contendo várias seções customizáveis, com regras de ordenação de itens, tais como ID, nome, descrição, release, dentre outros. F2 permite realizar busca com expressões regulares ou busca por palavra completa, além de diferenciar letras maiúsculas e minúsculas nas buscas. F5 e F10, além do campo de pesquisa geral, apresentam mecanismos para busca por diversos atributos e permitem combinação entre os atributos a fim de refinar a busca. F4 permite realizar buscas por tipo de artefato, inclusive utilizando filtros como data de modificação e autor, e também permite busca em projetos individuais ou em todos os projetos.

OT3 - Prover usabilidade e qualidade em uso: F7, F14, F15 e F16 apresentam interfaces pouco atrativas ou com documentação limitada. F5 e F4 possui interface extensa, o que torna o seu entendimento mais complexo. F10 trabalha integrada com F5, porém focada em ERS. Ela permite definir a estrutura das informações na interface de acordo com as necessidades do usuário. F8, F10, F11 e F13 possuem interface intuitiva e de fácil aprendizagem. F3 provê boa experiência de uso por meio de um "roadmap" que dá uma visão geral dos passos a serem seguidos no processo de ERS. F6 apresenta suas funcionalidades por meio de um fluxo de revisão que torna o processo mais dispendioso para ser compreendido nos momentos iniciais, mas proporciona maior eficiência para o usuário mais experiente. F9 apresenta um painel de controle com relatórios customizáveis e que provê uma visão geral dos requisitos do projeto. F12 apresenta uma visão geral das suas funcionalidades em forma de "Workflows". A navegação no fluxo de processo é feita por abas, de forma intuitiva. F17 tem uma interface web simples e atrativa, facilitando o entendimento e uso das funcionalidades. F1 e F2 possui uma interface parecida com a das ferramentas MS-Office, o que passa uma sensação de familiaridade aos usuários.

OT4 - Editar documentos cooperativamente: F2, F3, F7, F9, F10 e F13 não apoiam o trabalho cooperativo. F12 oferece uma funcionalidade de grupos de colaboração, porém essa funcionalidade não estava inoperante durante a avaliação da ferramenta. F14, F15 e F16 são ferramentas web que permitem que vários usuários acessem requisitos ao mesmo tempo. F1 permite que vários usuários trabalhem no mesmo requisito e que se comuniquem utilizando um fórum. F17 mantém uma parte web (Team Fundation Server) e uma parte desktop. F11 oferece mecanismos de envio de convite para outras pessoas participarem do projeto, de acordo com o nível de permissão atribuído. F8, permite criar projetos em grupos, onde os envolvidos no projeto trabalham de forma simultânea. F6 oferece uma seção (Jama Review Center) onde os usuários podem enviar um conjunto específico de requisitos a serem revisados, de forma que stakeholders possam inserir comentários, realizar edições e sinalizar questões. F4 fornece funcionalidades para que usuários trabalhem no mesmo documento sem que haja conflitos, permitindo realizar comentários, realizar revisões em pares e escrever sobre o mesmo requisito.

OT5 - Realizar comunicações relacionadas ao processo de ERS: F2, F3, F7, F9, F10, F11, F12 e F13 não oferecem funções específicas para suporte a comunicações. F1, F5, F8, F14 e F16 oferecem mecanismos de chat e/ou fórum para comunicação dentro da ferramenta, sendo que F5 e F16 permitem criar um fórum ou chat para cada requisito. Em F15 os envolvidos em um determinado requisito podem comunicar-se utilizando um chat. F17 provê uma sala virtual (Team Room) onde são marcadas reuniões e os usuários podem se comunicar de forma interativa. F6 oferece apoio ao registro de comunicações (por meio do Jama Review Center), onde os envolvidos em determinado projeto podem inserir anotações ou sinalizar questões e comentários. F4 permite o envio de e-mails internos ou externos, mantendo uma rastreabilidade das conversas realizadas durante a evolução dos requisitos.

OT6 - Prover ambiente de projeto para ERS: F1, F2, F3, F7, F8, F9, F10, F13, F14, F15, F16 e F17 não fornecem funções específicas para apoiar a gestão do projeto de ERS. F11 permite a criação, controle e monitoramento do plano de execução do projeto de requisitos. É possível criar atividades e sub atividades para cada etapa do projeto, bem como alocar recursos e estimar tempo para realização de cada atividade. F12 e F6 oferecem apoio à gestão do projeto de engenharia de requisitos por meio de relatórios de custo estimado por funcionalidade, tarefa, tópicos de colaboração, componentes funcionais, tempo de vida do projeto, riscos e tarefas. F4 permite informar no cadastro do projeto dados inerentes ao projeto, e monitorar alguns resultados, como percentual de execução e linha de tempo da execução do projeto.

OT7 - Orientar o processo de ERS: F5, F13, F16 e F17 não são ferramentas especializadas em ERS. Elas apoiam atividades de ERS sem definir diretrizes ou orientações, funcionando como uma caixa de ferramentas. F3 e a F4 são especializadas em ERS, porém também não definem um processo de ERS específico, cabendo ao usuário decidir como conduzir a ERS. F1, F2, F6 F7, F8, F9 F10, F11, F12, F14 e F15 são ferramentas especializadas em ERS que apresentam um processo de ERS definido e que serve de orientação sobre a forma de aplicação da ferramenta no desenvolvimento de um projeto de ERS.

OT8 - Corrigir ortografia de textos: F3, F6, F7, F9, F10, F11, F12, F13, F14 ,F15, F16, e F17 não fornecem apoio à correção ortográfica do texto dos requisitos. F2 fornece

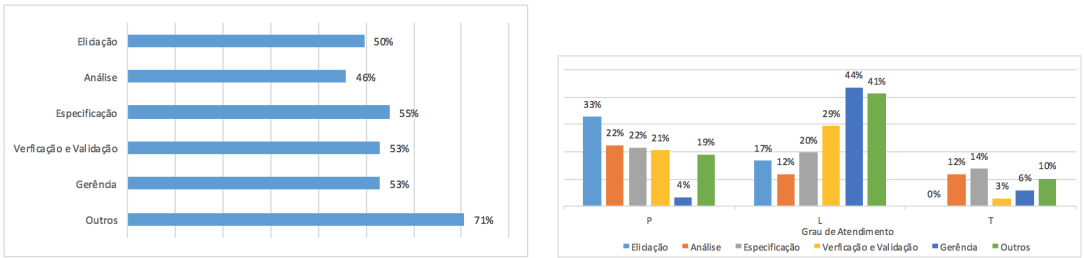
este apoio, contudo somente para texto escrito em inglês. F1, F4, F5, e F8 permitem a correção ortográfica de requisitos com base na linguagem do projeto. A análise descrita nesta seção evidencia que as ferramentas mais aderentes as características avaliadas são F1, F4, F5 e F17. A seção a seguir irá mostrar a consolidação e discussão dos resultados obtidos com a avaliação.

4. Discussão dos Resultados

Esta seção analisa quantitativa e qualitativamente os resultados obtidos da avaliação das ferramentas de ERS, visando responder a questão de pesquisa trabalhada neste artigo: qual a adequação das ferramentas existentes para ERS ao contexto de pequenas organizações produtoras de software? A análise considera a matriz de 510 valores de grau de atendimento resultantes do processo de avaliação das ferramentas e foca em três perspectivas relacionadas a essa questão: a) grau de atendimento às características por categoria de recurso de ERS; b) grau de atendimento às características por ferramentas de ERS; e c) grau de atendimento às características independente de categoria ou ferramenta de ERS.

Cada característica foi avaliada segundo os aspectos descritos na Seção 3. A característica foi avaliada como T quando todos esses aspectos foram contemplados na ferramenta. Se a maior parte dos aspectos está contemplada na ferramenta, a característica foi avaliada como L. Se apenas alguns aspectos estão presentes, a característica foi avaliada como P. Se nenhum dos aspectos avaliados está contemplado na ferramenta, a característica foi avaliada como N.

A Figura 1(a) mostra, para cada categoria de recursos de ERS, o percentual de características daquela categoria avaliado com valor maior que N (Não atendida), ou seja, o percentual de características que são minimamente atendidas pelas ferramentas em cada categoria avaliada. Por exemplo, a categoria Eliciação tem 7 características avaliadas em 17 ferramentas, totalizando 119 valores, dos quais cerca de 50% são maiores que N. Esses resultados evidenciam que as ferramentas avaliadas possuem, em todas as categorias de recursos de ERS, lacunas em relação ao atendimento das características no contexto de MPE.



(a) Grau de Atendimento > N por Categoria.

(b) Distribuição de Grau de Atendimento por Categoria.

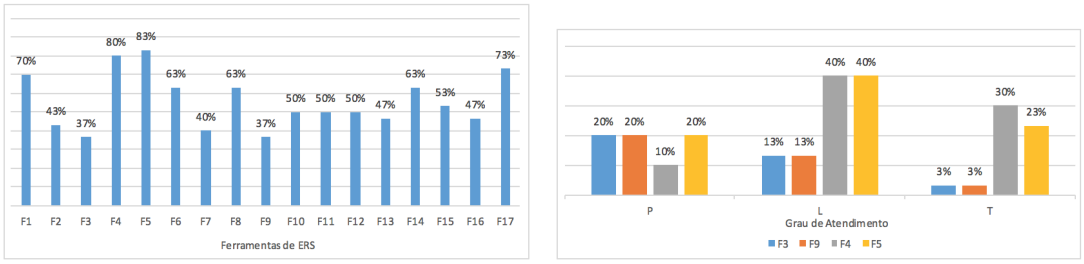
Figura 1. Grau de Atendimento por Categoria.

Embora a Figura 1(a) mostre certa uniformidade em relação ao percentual de atendimento por categoria de recurso de ERS, esses percentuais não indicam que tais categorias estejam sendo, de fato, bem apoiadas pelas ferramentas avaliadas. A Figura 1(b)

mostra que a maioria das características avaliadas em cada categoria não são atendidas de maneira completa, isto é, poucas características são totalmente apoiadas (grau T) pelas ferramentas avaliadas. Na Figura 1(b), a soma dos percentuais dos valores P, L e T para cada categoria é igual ao percentual da respectiva categoria apresentado na Figura 1(a).

A Figura 2(a) mostra, para cada ferramenta de ERS, o percentual de características daquela ferramenta avaliado com valor maior que N (Não atendida), ou seja, o percentual de características que são minimamente atendidas pela ferramenta avaliada. Por exemplo, a ferramenta F1 foi avaliada em 30 características, totalizando 30 valores, dos quais cerca de 70% são maiores que N. Esses resultados evidenciam que todas as ferramentas avaliadas possuem lacunas em relação ao atendimento das características de ERS no contexto de MPE.

Vale notar que, embora F4 e F5 tenham os melhores percentuais de atendimento na Figura 2(a), esses percentuais indicam apenas que essas ferramentas oferecem algum tipo de apoio às características avaliadas, mas não permitem avaliar se as ferramentas apoiam bem ou mal essas características. Para essa análise deve ser observada a Figura 2(b), que destaca as ferramentas da Figura 2(a) com maior e menor percentuais de atendimento. Ao analisar em detalhes as ferramentas F3 e F9, que apresentaram os piores resultados, observa-se que elas são equivalentes, visto que nos três graus de atendimento ambas alcançaram o mesmo percentual. Já a comparação detalhada de F4 e F5 evidencia que, mesmo tendo um percentual de atendimento maior na Figura 2(a), isso não significa que F5 oferece melhor apoio às características avaliadas. De fato, a Figura 2(b) mostra que F4 apresenta um percentual maior de grau de atendimento T em relação às características avaliadas, ou seja, F4 atende melhor essas características do que F5.



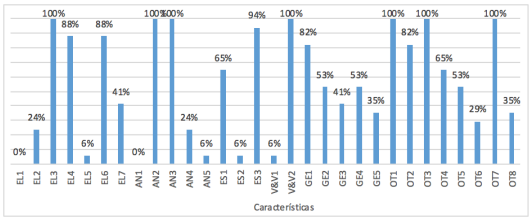
(a) Grau de Atendimento > N por Ferramenta.

(b) Distribuição de Grau de Atendimento em Ferramentas.

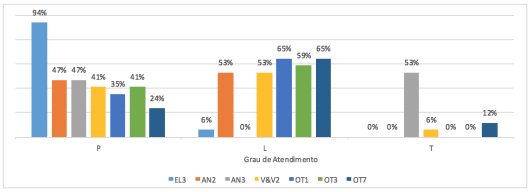
Figura 2. Grau de Atendimento por Ferramentas.

A Figura 3(a) mostra, para cada característica de ERS em MPE, o percentual dessa característica avaliado com valor maior que N (Não atendida), ou seja, o percentual da característica que é minimamente atendido pelas ferramentas avaliadas. Por exemplo, a característica EL2 foi avaliada em 17 ferramentas, totalizando 17 valores, dos quais cerca de 24% são maiores que N. Esses resultados evidenciam que algumas características de ERS no contexto de MPE não são adequadamente contempladas pelas ferramentas avaliadas.

Além disso, mesmo as características que obtiveram 100% de atendimento na Figura 3(a) (EL3, AN2, AN3, VV2, OT1, OT3 e OT7), ou seja, características contempladas por todas as ferramentas, não são, de fato, bem atendidas pelas ferramentas. Como mostra



(a) Grau de Atendimento > N por Característica.



(b) Distribuição de Atendimento em Características.

Figura 3. Grau de Atendimento por Características.

a Figura 3(b), a maioria dessas características são atendidas apenas de forma parcial.

Os resultados apresentados por esta seção confirmam o maior nível de completude das ferramentas F1, F4, F5 e F17, apontado na Seção 3. Entretanto, com a consolidação e o detalhamento dos resultados da avaliação, fica evidente essas ferramentas não apoiam de forma efetiva o processo de ERS no contexto de MPEs, pois o atendimento às características ocorre de maneira incompleta. Além disso, mesmo que essas ferramentas tivessem atingido um maior nível de aderência, a implantação das mesmas em MPEs poderia se tornar inviável ao se considerar o custo para obtenção das licenças. Um levantamento orçamentário realizado durante a avaliação das ferramentas mostrou que em 2015, para obter uma licença para 5 usuários, uma empresa teria que arcar com R$ 40.000,00 por ano em média para as ferramentas F1, F4, F5 e F17. Esse valor considera apenas o custo do módulo das ferramentas que oferecem apoio à ERS e não a toda suite da ferramenta. Logo, pode-se dizer que esse valor poderia se tornar inviável para uma MPE que tem rendimentos anuais de até R$ 360.000,00. O mesmo não se pode dizer para as grandes organizações que poderiam arcar também com os custos para customizações que seriam inviáveis para MPEs.

5. Conclusões

Este trabalho apresentou um panorama de ferramentas para ERS em relação ao apoio fornecido às características essenciais para o contexto de MPE, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre o estado arte na ER. Os critérios utilizados na avaliação empírica das ferramentas permitiram a sua análise objetiva e indicam a conclusão de que essas ferramentas não fornecem suporte adequado ao processo de ERS no contexto de pequenas organizações produtoras de software.

Outros trabalhos de pequisa avaliaram ferramentas de ERS, como por exemplo [Carrillo De Gea et al. 2012], [Zowghi and Coulin 2005], [Carrillo de Gea et al. 2011] e [Yahya et al. 2013]. Porém, ao contrário de trabalhos que se concentram em atividades ou aspectos específicos de ERS, como [Zowghi and Coulin 2005] e [Yahya et al. 2013], as características aqui analisadas abrangem todas as cinco principais categorias de atividades da ERS e mais um conjunto de características gerais de ferramentas de apoio a ERS.

Além disso, as avaliações discutidas neste trabalho aplicaram um método de avaliação baseado na experiência de usuário, ou seja, avaliando a qualidade em uso da ferramenta, diferentemente da abordagem de [Carrillo De Gea et al. 2012] e [Carrillo de Gea et al. 2011], cujas avaliações são baseadas no relato de representantes de vendedores de cada ferramenta e na utilização por amostragem do conjunto de ferramen-

tas avaliadas. Outro diferencial deste trabalho, é a avaliação com foco em características essenciais para o contexto de MPE, que muitas vezes não apresentam maturidade suficiente para exercer todas as atividades do processo de ERS por completo.

Como trabalhos futuros e já em andamento, destaca-se a comparação entre as ferramentas apresentadas neste trabalho para identificar as ferramentas mais adequadas e as características mais relevantes no contexto de MPE; a avaliação empírica dessas ferramentas para confirmar sua adequação ao contexto de MPE e para identificar possíveis pontos de melhoria; e a construção de uma ferramenta de ERS alinhada ao contexto de MPEs. Os autores agradecem ao CNPq e à FAPEG pelo apoio financeiro a este projeto de pesquisa.

Referências

ABES (2014). *Mercado Brasileiro de Software - Panorama e Tendências*. Associação Brasileira das Empresas de Software.

Burnay, C., Jureta, I. J., and Faulkner, S. (2014). What stakeholders will or will not say: A theoretical and empirical study of topic importance in requirements engineering elicitation interviews. *Information Systems*, 46(1):61–81.

Carrillo de Gea, J., Nicolas, J., Aleman, J., Toval, A., Ebert, C., and Vizcaino, A. (2011). Requirements engineering tools. *Software, IEEE*, 28(4):86–91.

Carrillo De Gea, J. M., Nicolás, J., Fernández Alemán, J. L., Toval, A., Ebert, C., and VizcaíNo, A. (2012). Requirements engineering tools: Capabilities, survey and assessment. *Inf. Softw. Technol.*, 54(10):1142–1157.

Hull, E., Jackson, K., and Dick, J. (2011). *Requirements engineering*. Springer, 3rd edition.

IEEE (1998). *IEEE Standard 830-1998 - Recommended Practice for Software Requirements Specifications*. IEEE.

ISO/IEC/IEEE (2009). *TR 24766: Information technology - Systems and software engineering - Guide for requirements engineering tool capabilities*. ISO.

ISO/IEC/IEEE (2011). *Standard 29148-2011 - Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements Engineering*. ISO.

Laporte, C., Alexandre, S., and Renault, A. (2008). Developing international standards for very small enterprise. *Computer*, 41(3):98–101.

Qyser, A. A. M., Ramachandram, S., and Ashraf, M. A. (2008). An evolutionary software product development process for small and medium enterprises. In *4th International Conference on Emerging Technologies - ICET*, pages 298–303. IEEE.

Yahya, S., Kamalrudin, M., and Sidek, S. (2013). A review on tool supports for security requirements engineering. In *IEEE Conference on Open Systems (ICOS)*, pages 190–194. IEEE.

Zowghi, D. and Coulin, C. (2005). *Engineering and Managing Software Requirements*, chapter Requirements Elicitation: A Survey of Techniques, Approaches, and Tools, pages 19–46. Springer.