

GERSE: Guia de Elicitação de Requisitos para Sistemas Embarcados

Jaime Cazuhiro Ossada¹, Luiz Eduardo G. Martins², Bárbara Stefani Ranieri³,
Anderson Belgamo⁴

¹ Faculdade de Tecnologia de Indaiatuba
Rua Dom Pedro I, 65 – Cidade Nova – Indaiatuba – SP – Brasil

² UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo
ICT – São José dos Campos – SP – Brasil

^{3,4} UNIMEP – Universidade Metodista de Piracicaba
Rodovia do Açúcar, km. 156 - Piracicaba – SP – Brasil

¹jaime.ossada@fatec.sp.gov.br, ²legmartins@unifesp.br, ³bsranieri@unimep.br,
⁴anbelgamo@unimep.br

Abstract. The projects with embedded systems are used for many different purposes, being a major challenge for the community of developers of such systems. As we benefit from technological advances the complexity of designing an embedded system increases significantly. This paper presents GERSE, a guideline to requirements elicitation for embedded systems. Despite of advances in the area of embedded systems, there is a shortage of requirements elicitation techniques that meet the particularities of this area. The contribution of GERSE is to improve the capture process and organization of the embedded systems requirements.

Keywords: Embedded Systems, Requirements Elicitation, GERSE.

1 Introdução

Os projetos de Sistemas Embarcados (SE) são criados para as mais diversas finalidades, sendo um nicho com muitos aspectos a serem explorados. A presença de SE têm crescido muito nos últimos anos, seja na indústria, comércio e nas residências em geral [6]. As aplicações de software desenvolvidas para SE estão se tornando mais sofisticadas e complexas. Essa sofisticação tem um impacto direto sobre o tratamento dos requisitos do sistema. Segundo [5], em sistemas computacionais embarcados, mais de 50% dos problemas ocorrem após a entrega do artefato ao usuário. Contudo, os problemas relatados não são erros de implementação, mas em grande parte equívocos cometidos na captura dos requisitos. Os SE estão presentes em nosso cotidiano, e a previsão é que aumentarão em grande escala nos próximos anos [22], atualmente são fabricados bilhões de processadores (por ano) voltados para o mercado de SE [20]. Visando contribuir para o desenvolvimento de SE seguros e confiáveis, com base em fundamentos da Engenharia de Requisitos, esse artigo apresenta um

Guia de Elicitação de Requisitos para Sistemas Embarcados, denominado GERSE. O guia proposto dirige os engenheiros de SE na captura e definição dos requisitos a serem implementados nos sistemas.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 é apresentada uma breve discussão sobre trabalhos correlatos que envolvem aspectos da Engenharia de Requisitos aplicados em SE; a seção 3 apresenta as fases e atividades que compõem o GERSE; a seção 4 discute a aplicação do GERSE em um estudo de caso, e também os resultados de uma avaliação feita por engenheiros de SE; a seção 5 apresenta uma ferramenta de software desenvolvida para tornar mais ágil e útil a adoção do GERSE; e a seção 6 apresenta as conclusões e aponta para trabalhos futuros.

2 Engenharia de Requisitos para Sistemas Embarcados

Na medida em que o software para SE está se tornando cada vez mais complexo, os engenheiros de SE estão procurando na Engenharia de Software técnicas, métodos e ferramentas que possam auxiliá-los na melhoria da qualidade do software. Por sua vez, a comunidade de Engenharia de Software está percebendo a necessidade de adaptar o ferramental já existente, e também propor novas abordagens, que possam atender de forma efetiva as particularidades da área de SE. Uma percepção que emerge das pesquisas na literatura da área de SE, e também a partir da interação com profissionais que desenvolvem sistemas nesta área, é que há uma escassez, senão uma ausência completa, de métodos, técnicas e ferramentas de Engenharia de Requisitos desenvolvidas especialmente para a área de SE.

O desenvolvimento de software na indústria automotiva é um dos campos mais desafiadores da Engenharia de Software, no qual os requisitos de tempo real se encontram com os de segurança, distribuídos em diversos processadores. Para que o sistema de software automotivo obtenha sucesso, é necessário que as funções de controle do software trabalhem corretamente, atendendo requisitos rígidos [4].

Além da indústria automobilística, os projetos de SE têm aumentado significativamente de tamanho, acompanhando a evolução da complexidade dos componentes eletrônicos e, conseqüentemente, gerando novos desafios à Engenharia de Requisitos. O grande desafio é a produção de SE de alta qualidade, que atenda o mercado antes que o produto se torne obsoleto. Segundo [9], para permitir que os processos de linha de tempo, produtividade e qualidade do software embarcado estejam otimizados, as empresas precisam empregar técnicas da Engenharia de Software, em muitas situações.

Os processos da Engenharia de Requisitos [10] auxiliam os *stakeholders* a descreverem o que eles desejam obter, permitindo que os fornecedores entendam claramente quais são os requisitos do produto a ser desenvolvido. No processo de definição de requisitos para SE, participam diversos perfis de profissionais, entre eles podemos destacar: os usuários e clientes, os especialistas nos domínios da aplicação, os especialistas em *marketing*, gerentes de projetos, engenheiros elétricos, engenheiros de hardware e os engenheiros de software. Para esse grupo, a Engenharia de Requisitos irá fornecer vários benefícios, por exemplo: estabelecimento de uma base de acordos, provimento da base do planejamento do projeto, redução do tempo de desenvolvimento, provimento da base de custos e calendários de planejamento,

definição de pontos de início para o desenvolvimento e a execução, delimitação da linha base para a validação e a verificação, melhoria da usabilidade, e determinação das melhorias do projeto [5]. Nos trabalhos de Broy [6] são propostas duas fases para o processo de elicitação de requisitos para SE, são elas:

(I) Pré-fase: elaboração geral do produto, sua estratégia e posicionamento no mercado, em que são definidas as metas e as questões mercadológicas do produto planejado, sendo que, o documento elaborado, deve conter algumas alternativas e uma lista de restrições.

(II) Fase principal: com base nos resultados da pré-fase, produzir um acordo entre os grupos envolvidos, no que diz respeito aos requisitos técnicos e elaborar um documento de especificações técnicas.

Conforme explica [1], os métodos convencionais utilizados na Engenharia de Requisitos, são incompletos ou não satisfazem totalmente às necessidades da área de SE. A Engenharia de Requisitos para produtos eletrônicos está mudando, assim como está ocorrendo na indústria automobilística e em outras áreas.

Para a elaboração do guia de elicitação de requisitos para SE, apresentado neste artigo, foi realizada uma ampla revisão bibliográfica sobre Engenharia de Requisitos para SE, incluindo artigos publicados no período de 1997 - 2010. Os trabalhos analisados foram [3] [5] [7] [8] [9] [14] [16] [18]. A maioria dos trabalhos aponta para fases durante o estágio inicial de desenvolvimento dos SE, porém, não foi observada a sugestão da utilização de metodologias específicas para a captura e a análise dos requisitos, ou ainda de um guia para refinar e transformar os requisitos informais em técnicos.

3 GERSE: Guia de Elicitação de Requisitos para Sistemas Embarcados

Para a elaboração do GERSE, foi realizada inicialmente uma pesquisa de campo, utilizando-se um questionário que foi aplicado aos profissionais que atuam no mercado brasileiro de SE, com o propósito de verificar o estado da prática em relação à elicitação de requisitos. Para participar da pesquisa, foram convidados profissionais que atuavam em várias áreas de SE, a maioria alocada em empresas do Estado de São Paulo, envolvendo vários segmentos de mercado: sistemas automotivos, automação industrial, eletrônicos de consumo, domótica, equipamentos médicos, telecomunicação e entretenimento [18]. Após a tabulação e análise dos resultados da pesquisa de campo, realizou-se um estudo sobre o padrão *IEEE 830-1998* [11], o qual fornece recomendações para a especificação de requisitos de software, e do *template Volere* [20], que fornece uma estrutura para documentar e organizar os requisitos de software. O *template Volere* é um documento que sugere como os requisitos devem ser capturados e descritos de forma estruturada, tratando-se de um documento amplamente conhecido. Esses três elementos de estudo constituíram a base para a elaboração das atividades que compõem o GERSE. A partir da análise desses elementos, foram propostas as atividades para a elicitação dos requisitos informais, e as atividades para transformá-los em requisitos técnicos.

3.1 Visão Geral do GERSE

O guia proposto tem o objetivo de facilitar, na forma de uma metodologia sistematizada, a execução de um conjunto de atividades de elicitação de requisitos para SE, tornando essas atividades práticas e organizadas. O guia proposto auxilia nas definições dos requisitos, permitindo a especificação completa dos mesmos para um determinado produto. O guia foi dividido em duas fases (pré-fase e fase principal), organizado em sete categorias, que totalizam quarenta e seis atividades específicas, responsáveis pela geração de sete artefatos que devem compor os requisitos do SE. A cada passo, os artefatos são gerados com o propósito de auxiliar na transição dos requisitos informais para os requisitos técnicos. A Figura 1 apresenta uma visão geral das fases e categorias de atividades previstas no GERSE.

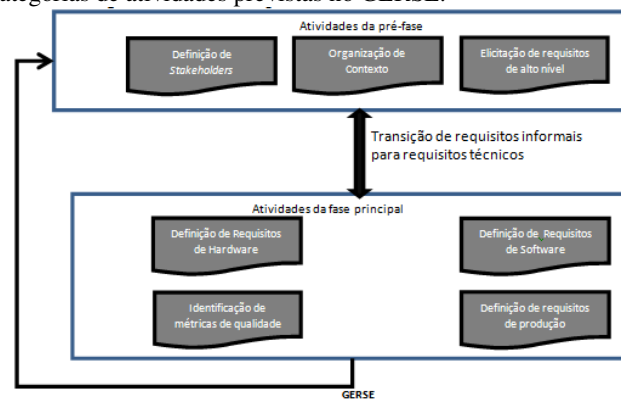


Figura 1- Fases e Categorias de Atividades Previstas no GERSE

3.2 As Fases e Atividades do GERSE

O GERSE divide-se em duas partes: a pré-fase e fase principal. Durante a pré-fase, as atividades foram classificadas em três categorias (Organização de Contexto, Definição de *Stakeholders* e Requisitos de alto nível), na fase principal as atividades foram classificadas em quatro categorias (Definição de Requisitos de Hardware, Definição de Requisitos de Software, Identificação de Métricas de Qualidade e Definição de Requisitos de Produção), totalizando quarenta e seis atividades. Cada categoria possui objetivos diferentes, com atividades específicas, cujo propósito é gerar artefatos (saída) para auxiliar na especificação dos requisitos de SE. As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam as atividades que compõem a pré-fase. As Tabelas 4 e 5 apresentam as duas primeiras atividades que compõem a fase principal.

Durante a pré-fase são capturados os requisitos que irão auxiliar o projetista a entender o sistema proposto, definindo suas características, propósitos e objetivos a serem atendidos. O artefato final obtido através do conjunto de atividades propostas nesta etapa são os requisitos de alto nível, que determinarão todas as características do SE (física, mecânica, eletrônica e funções), uma prévia do custo, um protótipo, além de todos os requisitos funcionais e não funcionais desejáveis. Em um SE, requisitos

não funcionais diferem de um sistema baseado em plataforma PC, por exemplo, consumo de energia é um requisito específico de SE.

Tabela 1 - Atividades de Organização de Contexto

Entrada	Atividade	Artefato (Saída)	Meta
Questionários, entrevistas, cenários, políticas organizacionais e legislação	1.1 Obter o propósito e as metas organizacionais do produto frente ao mercado	Lista com os propósitos e as metas a serem atingidas com o desenvolvimento do produto	Definir qual o objetivo central do produto a ser desenvolvido
	1.2 Especificar as características gerais do produto	Lista das características gerais do produto e de suas prioridades	Identificação da característica do produto, a ser desenvolvido, e de suas prioridades
	1.3 Definir os impactos organizacionais com o desenvolvimento do produto.	Lista dos impactos organizacionais com o desenvolvimento do produto	Verificar quais as consequências, caso o produto seja desenvolvido
	1.4 Determinar os impactos negativos causados pelo não desenvolvimento do produto	Lista dos impactos negativos causados pelo não desenvolvimento do produto	Verificar quais as consequências, caso o produto não seja desenvolvido
	1.5 Identificar as expectativas de tempo total de desenvolvimento do produto	Tempo estimado inicial de desenvolvimento (time-to-market)	Determinar o prazo estimado de time to market por parte do cliente
	1.6 Caracterizar o público a ser atingido	Lista de prováveis usuários finais	Determinar a escala de distribuição do produto e a necessidade de comunicação em diversos idiomas
Análise da documentação existente, prototipação e reuso de requisitos	1.7 Recuperar os projetos de sistemas legados	Lista de sistemas legados	Determinar quais serão os componentes a serem reutilizados

Tabela 2 - Atividades de Definição de Stakeholders

Entrada	Atividade	Artefato (Saída)	Meta
Questionários, entrevistas, cenários, políticas organizacionais, legislação e documentação existente	2.1 Definir os principais stakeholders	Lista dos stakeholders e os graus de envolvimento e de influência	Definir as pessoas e os grupos, os quais possuem interesse e que influenciarão nos requisitos do produto
Datasheet, normas, padrões, conformidade e entrevistas	2.2 Determinar os stakeholders como especialistas de domínio	Lista dos stakeholders especialistas	Indicar os stakeholders que irão contribuir para a definição da arquitetura, a adequação para o cumprimento de normas e padrões, os especialistas de domínios e os fornecedores
Pesquisa de mercado, análise estrutural da organização, entrevistas e observações	2.3 Relacionar os stakeholders contrários ao projeto	Lista de stakeholders contrários à realização do produto	Determinar os stakeholders que são contrários ao projeto, os quais não se beneficiarão com a realização ou terão prejuízos
Pesquisas e entrevistas	2.4 Caracterizar o perfil do usuário	Lista dos usuários finais e de suas características	Definir quem são os usuários finais, descrevendo as habilidades e os perfis necessários para a utilização do produto

Tabela 3 - Atividades de Elicitação de Requisitos de Alto Nível

Entrada	Atividade	Artefato (Saída)	Meta
Cenários, análise de produtos similares, pesquisa de mercado, protótipos, documentação existente e entrevistas.	3.1 Definir as funções do produto (Requisitos Funcionais)	Relação das funções que o produto deve realizar	Definir todas as funções que deverão ser realizadas pelo produto, enfatizando as de entrada e saída
	3.2 Indicar as restrições do produto (Requisitos não--funcionais)	Lista com as características não desejáveis do produto	Determinar os comportamentos indesejáveis do produto, e as características encontradas em produtos similares, para serem utilizados como um diferencial

	3.3 Indicar as restrições físicas do ambiente	Lista com as características de ambiente de trabalho do produto	Caracterizar as condições físicas de ambiente do produto (temperatura, pó, vibrações mecânicas, radiação, eletromagnetismo e umidade)
	3.4 Estabelecer as características de consumo de energia	Formas de alimentação do produto	Definir a forma de alimentação do produto (pilhas, baterias e fonte externa)
	3.5 Identificar as características físicas e mecânicas	Listagem com as características físicas e mecânicas do produto	Identificar as características físicas e mecânicas (tamanho do produto, designer físico, funções mecânicas de botões e tamanho de sensores e atuadores para a comunicação com o usuário)
	3.6 Caracterizar a interface	Lista de interface externa	Estabelecer a comunicação externa (USB, CAN, Serial)
	3.7 Indicar as situações críticas	Relação das situações críticas que, eventualmente, possam ocorrer	Quedas, choques e travamentos
	3.8 Definir o grau de confiabilidade	Nível de confiabilidade	Verificar o nível de confiabilidade
Solução encontrada, fornecedores, pesquisas, cenários, análise de produtos similares, pesquisa de mercado, protótipos, fornecedores e projetistas.	3.9 Determinar a solução encontrada	Modelo/Diagrama/Protótipo com a solução encontrada	Propor uma solução inicial para o produto através de um modelo conceitual ou lógico
Planilha eletrônica	3.10 Revelar a estimativa de custos	Planilha de custos	Apresentar um orçamento inicial de estimativa de custos de produção

Uma vez obtidos os requisitos da pré-fase, é necessário refiná-los, transformando-os em requisitos técnicos. Para isso, tomam-se por base os requisitos obtidos nas atividades de elicitação de requisitos de alto nível, convertendo-os em requisitos técnicos. Uma vez realizada todas as atividades descritas no guia, obtém-se um conjunto preciso de todas as características e funções dos requisitos funcionais e não funcionais do SE, a um baixo custo e bem documentado. Tal documentação facilita que o projeto se desenvolva em frentes paralelas, com uma equipe desenvolvendo o hardware e outra o software, acelerando o seu desenvolvimento e conseguindo atender o *time to market*.

Tabela 4 - Atividades de Definição de Requisitos de Hardware

Entrada	Atividade	Artefato (Saída)	Meta
Análise dos requisitos de alto nível (pré-fase)	4.1 Definir os sensores	Listas de sensores e seus atributos (Analogico/Digital)	Definir a lista de sensores a serem usados, com suas características, para a definição da quantidade de portas, pinos e conversores analógico/digital necessários
	4.2 Delimitar os atuadores	Relação de atuadores e de seus atributos (Analogico Digital)	Elaborar a lista de atuadores a serem utilizados, com suas características, para a definição da quantidade de portas e de pinos que faltam.
	4.3 Esclarecer a interação com o usuário	Listas de displays, avisos sonoros e visuais para a interação com o usuário	Definir o HW para a comunicação com o usuário
	4.4 Caracterizar as interrupções de HW	Listagens de interrupções originadas por HW	Indicar as interrupções que serão geradas por HW
	4.5 Identificar os botões	Relação de botões de ação e suas funções	Definir os botões (chave liga/desliga) necessários para a interface com o usuário
	4.6 Indicar as memórias	Lista de memórias externas	Determinar a quantidade de memória externa para o armazenamento das funções e dos dados (Flash/E ² PROM)

	4.7 Definir as portas de comunicação externa	Lista de portas de comunicação externa	Esclarecer a necessidade de comunicação externa com outros componentes de HW e o tipo de comunicação a ser empregada (USB/SERIAL/ETHERNET/CAN)
	4.8 Fixar os requisitos de componentes	Lista de componentes auxiliares a serem utilizados	Definir a lista de componentes eletrônicos auxiliares, externos ao microcontrolador (cristal, capacitores, resistores, LEDs etc.)
	4.9 Indicar os requisitos de Layout da placa controladora	Listagem de características do layout e da placa de circuito impresso	Determinar o tamanho da placa circuito impresso (Layout) e o tipo de placa (Multilayer)
	4.10 Definir os parâmetros de HW legados	Lista com as características de sistemas legados	Definir as características gerais de HW de sistemas legados
	4.11 Demarcar os parâmetros de COTS especiais	Lista com as características gerais de COTS	Identificar as características gerais de COTS
	4.12 Identificar os microcontroladores	Relação de microcontroladores compatíveis	Listar os microcontroladores que atendam aos requisitos de HW e seus respectivos datasheets

Tabela 5 - Atividades para Definição dos Requisitos do SW

Entrada	Atividade	Artefato (Saída)	Meta
Análise dos requisitos de alto nível (Pré-fase)	5.1 Definir as variáveis de ambiente	Lista de tipos de variáveis, faixa de valores	Definir variáveis e faixa de valores enviados pelos sensores
	5.2 Determinar as funções de SW	Relação de funções SW	Delimitar as funções que serão realizadas por intermédio de SW e das telas de mensagens intermediárias.
	5.3 Delimitar as exceções	Lista das exceções de SW	Fixar as funções de SW frente à ocorrência de exceções de SW
	5.4 Definir as funções de interrupções	Listagem de funções de SW em face de interrupções identificadas	Definir as funções e as ações em decorrência de interrupções
	5.5 Caracterizar os requisitos de idioma	Lista de idiomas do produto	Indicar os idiomas do software embarcado
	5.6 Estabelecer a interface de comunicação (software)	Relação das interfaces de comunicação com outros softwares	Estabelecer as variáveis de comunicação com outros softwares embarcados
	5.7 Indicar as funções de monitoramento	Lista com as funções de monitoramento por SW	Delimitar as funções de SW para o monitoramento
	5.8 Definir as funções de armazenamento de dados	Lista com as funções de armazenamento e aquisição de dados	Definir as funções de SW e os tipos de dados a serem armazenados

3.3 Relação Requisitos Informais versus Requisitos Técnicos

O GERSE focaliza, especificamente, a elicitação de requisitos para SE, possibilitando aos engenheiros de SE realizarem as atividades de forma sistemática, em duas fases distintas, o que implica em uma transição natural, a qual ordena os requisitos em grupos específicos.

O *template Volere* e a recomendação *IEEE 830-1998* são modelos gerais e não contemplam em sua estrutura as particularidades dos projetos de SE. As atividades previstas no GERSE apresentam um maior grau de detalhamento do que os *templates* de requisitos citados, oferecendo aos engenheiros de SE uma ferramenta mais adequada às atividades de elicitação de requisitos, produzindo uma documentação completa, facilitando e organizando as demais fases do ciclo de vida de desenvolvimento do produto. A Tabela 6 apresenta um mapeamento entre as seções sugeridas pelo *template Volere* e as atividades do GERSE, as colunas com os requisitos da pré-fase e principal complementam as seções do *Volere*. Por esse mapeamento, percebe-se que o GERSE é totalmente aderente ao *Volere*, porém, apresentando orientações mais detalhadas para a especificação de requisitos quando o sistema em questão é um SE.

Tabela 6 – Comparativo entre o *template Volere* e o GERSE

Template Volere	GERSE Requisitos Globais (Pré Fase)	GERSE Requisitos Técnicos (Fase Principal)
1. O propósito do produto	1.1 Obter o propósito e as metas organizacionais do produto frente ao mercado	
2. Cliente, comprador e outros interessados	2.1 Definir os principais stakeholders	
	2.2 Determinar os stakeholders como especialistas de domínio.	
3. Usuários do produto	2.4 Definir o perfil do usuário	
4. Restrições necessárias	3.2 Indicar as restrições do produto (Requisitos não funcionais)	
6. Fatos e suposições relevantes	2.3 Identificar os stakeholders contrários ao projeto	
5. Convenções e definições de nomes		
7. O escopo do trabalho		
8. O escopo do produto	1.2 Indicar as características gerais do produto	
9. Requisitos funcionais e de dados	3.1 Definir as funções do produto (Requisitos Funcionais)	5.2 Definir as funções de SW
		5.6 Indicar a interface de comunicação (software).
10. Requisitos sensoriais (Look and Feel Requirements)	3.6 Estabelecer a interface	5.7 Identificar as funções de monitoramento.
		5.8 Indicar as funções de armazenamento de dados.
11. Requisitos de usabilidade		7.2 Indicar a embalagem
12. Requisitos de desempenho	3.4 Delimitar características de consumo de potência	4.3 Esclarecer a Interação com o usuário
		5.5 Indicar os requisitos de idioma
13. Requisitos operacionais e de ambiente	3.3 Indicar as restrições físicas do ambiente	4.4 Definir as Interrupções de HW
		3.8 Indicar o grau de confiabilidade
		4.8 Fixar os requisitos de componentes
14. Requisitos de manutenibilidade e portabilidade	3.5 Indicar as características físicas e mecânicas. 5.1 Caracterizar as variáveis de ambiente	5.4 Definir as funções de interrupções
		6.2 Indicar o desempenho
		4.1 Determinar os sensores
15. Requisitos de segurança	3.7 Apontar as situações críticas	4.2 Indicar os atuadores
		4.5 Definir os botões
16. Requisitos de cultura e política		4.6 Delimitar as memórias
17. Requisitos legais		4.7 Estabelecer as portas de comunicação externa.
18. Questões em aberto		4.9 Definir os requisitos de Layout da placa controladora
19. Soluções prontas	1.7 Recuperar os projetos de sistemas legados	4.12 Determinar os microcontroladores.
	3.9 Definir a solução encontrada	
20. Novos problemas		7.1 Caracterizar os aspectos de produção.
21. Tarefas		6.3 Definir as métricas de manutenção
22. Pontos importantes	1.5 Esclarecer as expectativas de tempo total de desenvolvimento do produto	5.3 Indicar as exceções
	1.6 Definir o público a ser atingido	6.1 Definir o grau de segurança
23. Riscos	1.3 Definir os impactos organizacionais com o desenvolvimento do produto	

	1.4 Definir os impactos negativos com o não desenvolvimento do produto	
24. Custos	3.10 Definir estimativa de custos	
25. Documentação e Treinamento do Usuário		
26. "Sala de Espera"		
27. Idéias para Soluções		

4 Estudo de Caso e Avaliação do GERSE

Após a elaboração do GERSE, o mesmo foi instanciado em um estudo de caso, que foi a elicitação de requisitos para um SE em um relógio digital utilizado em Torneios Internacionais de Xadrez. O objetivo dessa experiência foi avaliar na prática o guia proposto, demonstrando a aplicação do guia e os artefatos gerados. A documentação completa do GERSE foi submetida à quatro projetistas de SE (profissionais das áreas de sistemas automotivos, equipamentos médicos e entretenimento), que realizaram a avaliação formal do guia, por meio de um questionário. O questionário consistia em vinte e uma questões simples, elaboradas com alternativas baseadas na escala de Likert, e em duas questões de livre contexto, para observações pessoais, enviado por correspondência eletrônica, juntamente à documentação do GERSE e do experimento realizado. Salientou-se aos avaliadores que o GERSE foi elaborado para atender às diversas disciplinas presentes em um projeto de SE, e não apenas ao desenvolvimento de HW e de SW, mas sim às questões globais do projeto. As respostas do questionário permitiram uma avaliação prática da viabilidade de utilização do guia. Os respondentes do questionário foram unânimes em relação à avaliação positiva do GERSE, ficando claro que o guia contribui para a melhoria da qualidade de desenvolvimento dos sistemas embarcados e é de fácil utilização. A discussão dos resultados é apresentada a seguir, agrupadas em atividades da pré-fase e da fase principal, e dividida em um conjunto de atividades quanto à clareza, isto é, se tal conjunto atende completamente à elicitação de requisitos em projetos de SE. Inicialmente, procurou-se identificar se as atividades iniciais da pré-fase (organização do contexto, definição de *stakeholder* e requisitos de alto nível) estavam suficientemente claras. Na Tabela 7, são expostas as avaliações sobre a atividade da pré-fase no que diz respeito à sua clareza.

Tabela 7 – Grupo de Questões Quanto À Clareza do Guia Durante a Pré-Fase

Questões	Concordo	Concordo	Discordo	Discordo
	Totalmente	parcialmente	Parcialmente	Totalmente
As atividades para organização de contexto são suficientemente claras.	100%	0%	0%	0%
As atividades para definição de stakeholder são suficientemente claras.	50%	25%	25%	0%
As atividades para definição de requisitos de alto nível são suficientemente claras.	50%	50%	0%	0%

Por intermédio das respostas obtidas, observa-se que é preciso uma maior explicitação das atividades de definição de *stakeholders*. A Tabela 8 mostra os resultados quanto à completude das atividades da pré-fase, novamente indicando a necessidade de uma melhoria das atividades de definição de *stakeholder*.

Tabela 8 – Grupo de Questões Quanto a Completude do Guia Durante a Pré Fase

Questões	Concordo	Concordo	Discordo	Discordo
	Totalmente	parcialmente	Parcialmente	Totalmente

As atividades para organização de contexto estão completas.	50%	50%	0%	0%
As atividades para definição de <i>stakeholder</i> estão completas	50%	25%	25%	0%
As atividades para definição de alto nível estão completas.	50%	50%	0%	0%

Quando questionados sobre as atividades de definição de requisitos de alto nível, o resultado mostrou que, o conjunto de atividades é satisfatório para um projeto de SE. Na Tabela 9, são apresentados os resultados das questões sobre as atividades de alto nível. Diante dos mesmos, é necessário um ajuste futuro, para aprimorar as atividades de análise de requisitos de alto nível, com a finalidade de permitir uma melhor transição para as atividades de identificação de HW e SW.

Tabela 9 - Grupo de Questões Quanto as Atividades de Alto Nível.

Questões	Concordo	Concordo	Discordo	Discordo
	Totalmente	parcialmente	Parcialmente	Totalmente
As atividades para definição de requisitos de alto nível são suficientemente claras.	100%	0%	0%	0%
As atividades para definição de alto nível estão completas.	50%	50%	0%	0%
Através da análise das atividades de requisitos de alto nível é possível transitar e converter facilmente para as atividades de identificação de <i>hardware</i> e <i>software</i> .	50%	25%	25%	0%

No grupo de questões sobre as atividades de identificação de HW e SW, as respostas foram divergentes. Apesar de todos os respondentes afirmarem que, as atividades de identificação de hardware estavam suficientemente claras, não se chegou a um consenso acerca da questão sobre as atividades para identificação de hardware e da elicitación das funções de software. Na Tabela 10 observam-se as respostas no conjunto de questões sobre as atividades de identificação de HW e definição de funções de SW.

Tabela 10 – Respostas do Grupo de Questões de Identificação de HW e Elicitación de funções de SW.

Questões	Concordo	Concordo	Discordo	Discordo
	Totalmente	parcialmente	Parcialmente	Totalmente
As atividades para identificação de <i>hardware</i> são suficientemente claras.	100%	0%	0%	0%
As atividades para identificação de hardware estão completas.	50%	50%	0%	0%
As atividades para elicitación de funções de software são suficientemente claras.	50%	25%	25%	0%
As atividades para elicitación de funções de software estão completas.	50%	25%	25%	0%

O grupo de questões para a definição de métricas de qualidade e de requisitos produção apresentou uma grande divergência e, pelos comentários introduzidos, percebe-se que as diversas áreas de desenvolvimento não estão integradas e, em certos projetos, trabalham isoladamente, os resultados obtidos estão expostos na Tabela 11.

Tabela 11 - Respostas do Grupo de Questões de Métricas de Qualidade e de Produção.

Questões	Concordo	Concordo	Discordo	Discordo
	Totalmente	parcialmente	Parcialmente	Totalmente
As atividades para definição de métricas de qualidade são suficientemente claras.	100%	0%	0%	0%
As atividades para definição de métricas de qualidade estão completas.	50%	50%	0%	0%
As atividades para definição de métricas de produção são suficientemente claras.	50%	25%	25%	0%
As atividades para elicitación de funções de <i>software</i> estão completas.	50%	25%	25%	0%

E finalmente, mas não menos importante, indagou-se sobre a clareza, a completude, a adoção do guia para futuros projetos, a facilidade de utilização, a

contribuição na melhoria da qualidade e se atende às necessidades de definição de requisitos em projetos de SE. A Tabela 12 apresenta as respostas referentes à avaliação geral do GERSE.

Tabela 12 - Respostas Sobre a Avaliação Geral do GERSE.

Questões	Concordo	Concordo	Discordo	Discordo
	Totalmente	parcialmente	Parcialmente	Totalmente
O guia apresentado é claro suficiente para ser utilizado em um projeto de sistemas embarcados de pequeno e médio porte.	50%	50%	0%	0%
O guia apresentado é completo e atende as necessidades para projetos de sistemas embarcados de pequeno e médio porte.	50%	25%	25%	0%
Adotaria o guia apresentado para elicitação de requisitos de projetos futuros.	50%	25%	25%	0%
O guia apresentado é de fácil utilização.	50%	50%	0%	0%
O guia apresentado contribui na melhoria da qualidade de desenvolvimento de sistemas embarcados.	50%	50%	0%	0%
O guia apresentado atende as suas necessidades de definições de requisitos em projetos de sistemas embarcados.	50%	50%	0%	0%

5. ZAKI: Uma Ferramenta de Apoio ao GERSE

É fato conhecido dentro da comunidade de Engenharia de Software, que qualquer processo sugerido aos desenvolvedores necessita de um software de apoio, que motive os praticantes na adoção do mesmo. Sendo assim, a ferramenta ZAKI surgiu com o intuito de motivar os desenvolvedores de SE na adoção do GERSE, apoiando as atividades presentes no guia e auxiliando o processo de elicitação de requisitos para sistemas embarcados de modo a facilitar e melhorar a qualidade do projeto. A ferramenta ZAKI está dividida em módulos, com o objetivo de organizar o processo em uma forma sistematizada, abrangendo a pré-fase e a fase principal estabelecida no guia, fornecendo aos desenvolvedores de sistemas embarcados um auxílio nas atividades de elicitação, análise e gerenciamento de requisitos. A Pré-fase é contemplada na ZAKI com o objetivo de cadastrar as diretrizes do projeto e as características gerais do produto, além dos impactos organizacionais do desenvolvimento e os *stakeholders* envolvidos.

A Fase principal é contemplada na ZAKI com a conversão dos requisitos de alto nível para os requisitos técnicos. Ela é dividida na (a) Elicitação de Requisitos de Hardware (abrange o cadastro de atuadores, sensores e microcontroladores, como também memória, parâmetros de hardware legado, além de requisitos de componentes); (b) Elicitação de Requisitos de Software (abrange o cadastro de funções de controle, monitoramento, armazenamento e interrupção, definição de variáveis de ambiente, requisitos de idiomas e definição de exceções); (c) Definição de Métricas de Qualidade (abrange o cadastro de restrições de qualidade de um sistema embarcado, o cadastro do grau de segurança oferecido pelo produto, além da caracterização do mesmo e as métricas utilizadas para a manutenção do produto). Na Figura 2 é apresentada uma tela de Cadastro de Requisitos, na qual deve-se entrar com a descrição do requisito, a sua justificativa, os *stakeholders* e os componentes (sensores e atuadores) envolvidos.

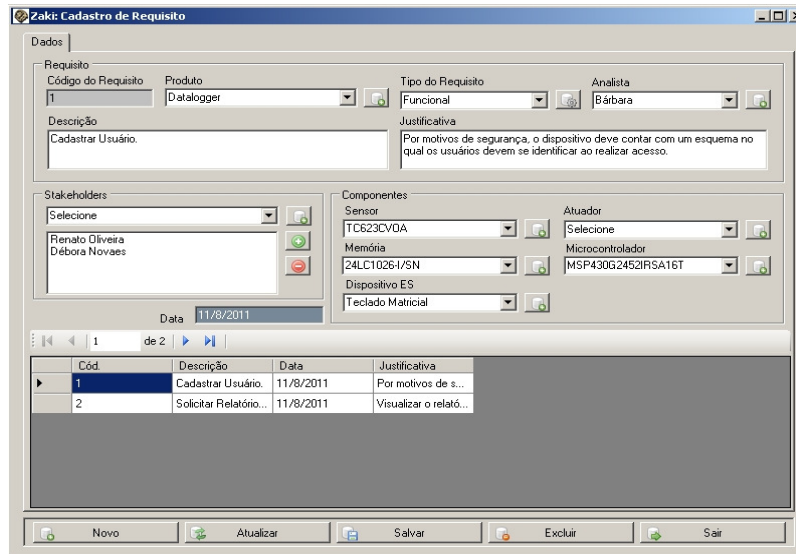


Figura 2- Tela de Cadastro de Requisitos da Ferramenta ZAKI

Tabela 13 – Questões Abordando o Processo de Elicitação de Requisitos Provido Pela ZAKI

Questões	Cumpre Totalmente	Cumpre Parcialmente	Não Cumpre
O software atende às necessidades do processo de elicitação de requisitos para sistemas embarcados.	100%	0%	0%
A ferramenta facilita o processo de elicitação de requisitos, refletindo em economia de tempo e na qualidade do projeto.	100%	0%	0%
A ferramenta auxilia na interação com o solicitante, organizando e mantendo uma base de informações sobre o projeto, gerando uma elicitação de requisitos eficiente.	25%	75%	0%
A ferramenta fornece suporte para uma elicitação de requisitos completa, auxiliando no cumprimento das metas do projeto.	100%	0%	0%

A ferramenta ZAKI foi utilizada por três analistas de requisitos, para fazer a elicitação e especificação de requisitos de um SE para um dispositivo *data logger*. Esse SE visava a monitoração e coleta de dados ambientais, entre eles: temperatura, pressão atmosférica, umidade, índice pluviométrico, luminosidade, velocidade do vento, entre outros. Após utilizar a ferramenta na especificação do *data logger*, os analistas responderam um questionário para avaliar a ferramenta. As questões abordadas no questionário estavam assim organizadas:

- Questões abordando o processo de elicitação de requisitos apoiado pela ZAKI (vide Tabela 13), sobre o qual os participantes foram unânimes em avaliar que a

ferramenta atende às necessidades do processo de elicitação de requisitos em SE, facilitando-o e refletindo em economia de tempo e na qualidade do projeto;

- Questões envolvendo informações contidas nos cadastros fornecidos pela ZAKI, sobre as quais os analistas relataram pequenas divergências em relação à completude dos atributos, necessários para consulta e acompanhamento das atividades e itens ao longo do projeto, apontando necessidade de pequenos ajustes no cadastro de variáveis de ambiente;
- Questões sobre a interface da ferramenta ZAKI, sobre a qual foram indicadas sugestões de melhorias para tornar a recuperação de informações mais eficiente.

No geral, a avaliação da ferramenta ZAKI foi positiva, mostrando que ela contempla o GERSE e pode ser utilizada como ferramental durante o processo de elicitação e especificação de requisitos de sistemas embarcados.

6. Conclusão

As atividades estruturadas do GERSE auxiliam na condução da elicitação e especificação de requisitos de SE, ajudando os engenheiros de SE a produzirem um documento de requisitos completo, organizado e de fácil entendimento. Conforme verificado nas avaliações realizadas, o GERSE satisfaz a proposta de um guia de elicitação de requisitos para sistemas embarcados. Uma das contribuições relevantes deste trabalho foi na direção de diminuir a lacuna existente entre as áreas de Engenharia de Software (particularmente no segmento da Engenharia de Requisitos) e Engenharia de Sistemas Embarcados. A elicitação de requisitos para qualquer tipo de sistema não é uma tarefa trivial, e particularmente em SE, existem necessidades específicas, que precisam ser tratadas já no nível dos requisitos, como: requisitos de tempo-real, controle do consumo de energia, restrições de hardware (sensores, atuadores, memória e microcontroladores), curta da janela de tempo de mercado (*time-to-market*). A avaliação do GERSE, feita por profissionais que atuam no desenvolvimento de SE, embora tenha sido altamente positiva, apontou também alguns pontos em que o guia necessita de melhorias, como ampliar o foco em atividades relacionadas à produção e controle de qualidade do produto. Esses aspectos estarão sendo abordados em trabalhos futuros. De maneira geral, o GERSE foi considerado satisfatório, contribuindo para preencher a lacuna existente na fase inicial de um projeto de SE. O GERSE contribui para atenuar de forma significativa os riscos de falhas na captura dos requisitos de SE, alcançado por intermédio da captura sistematizada dos requisitos e através da transição dos requisitos informais para requisitos técnicos, auxiliando também no particionamento dos requisitos do produto.

Referências

1. Smith, T.F., Waterman, M.S.: Identification of Common Molecular Subsequences. *J. Mol. Biol.* 147, 195--197 (1981)
2. Aoyama M. "Persona and Scenario Based Requirements Engineering for Software Embedded in Digital Consumer Products". 13th IEEE International Conference on Requirements Engineering: 2005.
3. Aurum A.; Wohlin, C. "Requirements engineering: Setting the context". In: Aurum C. & Wohlin C. (Eds), *Engineering and managing software requirements* (p 1-15). Springer. Berlin, Germany: 2005.

4. Boulanger J.; Van Quang D. (2008). "Experiences from a model-based methodology for embedded electronic software in automobile", at Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, In: ICTTA 3rd International Conference on.
5. Botaschanjan, J.; Kof, L.; Kuhnel C.; Spichkova, M. (2005). "Towards verified automotive software", In: Proceedings of the Second international Workshop on Software Engineering For Automotive Systems.
6. Broy M. (1997). "Requirements engineering for embedded systems". In: Proc. ofFemSys.
7. Cancian R.; Stemmer M.; Frohlich A. (2007). "New Developments in EPOS Tools for Configuring and Generating Embedded Systems", In: Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Patras, p. 776-779.
8. Chae H. (2006). "The Partitioning Methodology in Hardware/Software Co-Design Using Extreme Programming: Evaluation Through the Lego Robot Project", In: Proceedings of the sixth IEEE International Conference on Computer and information Technology.
9. Cheng B.; Atlee J. "Research Directions in Requirements Engineering, Future of software Engineering". IEEE Future of Software Engineering (FOSE'07): 2007.
10. Graaf B.; Lormans M; Toetenel H. (2003). " Embedded software engineering: the state of the practice", In: IEEE Software archive, v. 20, n. 6, p. 61-69.
11. IEEE Computer Society Software Engineering Standards Committee (1998), "IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications". IEEE Std 830-1998.
12. Hoffmann, H.; Lehner F. "Requirements Engineering as a success factor in software projects". IEEE Software, pp. 58-66 vol 18, n.4: 2001.
13. Jiang L.; Eberlein A. "Selecting Requirements Engineering Techniques based on Project Attributes - A Case Study". Proceedings of the 14th Annual IEEE International Conference and Workshops on the Engineering of Computer Based Systems: 2007.
14. Kotonya G.; Sommerville I. "Requirements Engineering: Processes and Techniques". John Wiley and Sons: 1998.
15. Liggesmeyer P.; Trapp M. (2009). "Trends in Embedded Software Engineering", IEEE, In: Software, IEEE, v. 26, n. 3, 2009, p. 19-25.
16. Martins L.E.G "Uma Metodologia de Elicitação de Requisitos de Software Baseada na Teoria da Atividade - Tese de Doutorado" – Universidade Estadual de Campinas, Campinas: 2001.
17. Nasr E.; Mcdermid J.; Bernat G.(2002). "Eliciting And Specifying Requirements With Use Cases For Embedded Systems", In: Proceedings at 7th International Workshop on Object-Oriented Real-Time dependable systems (WORDS 2002).
18. Ossada J. C. (2010). "GERSE: Guia de Elicitação de Requisitos para SE de Pequeno e Médio Porte". Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação – Universidade Metodista de Piracicaba - Piracicaba.
19. Pretschner A.; Broy M.; Kruger, Ingolf H.; Stauner T.(2007). "Software Engineering for Automotive Systems: A Roadmap Future of Software Engineering", In: International Conference on Software Engineering - Future of Software Engineering (FOSE'07).
20. Robertson S.; Robertson J. (2006). "Mastering the Requirements Process". Addison-Wesley Pub Co; 2st edition. London.
21. Vahid F.; Givargis T. (2002). "Embedded System Design: A Unified Hardware/Software Design". John Willey & Sons.
22. Wagner, F.; Carro, L. (2009). "Metodologias e Técnicas de Engenharia de Software para Sistemas Embarcados", In: JAI'09 – XXIII Jornadas de Atualização de Informática, Capítulo 4. SBC/PUC, Bento Gonçalves.