

# SysML extensions to software development - A systematic review

## Extensões SysML para desenvolvimento de software - Uma revisão sistemática

Joselino D. M. dos Santos  
Federal University of Sergipe  
Computer Science Department  
Aracaju, Sergipe  
joselenomoreira@gmail.com

Diego A. de O. Meneses  
Federal University of Sergipe  
Computer Science Department  
Aracaju, Sergipe  
diegoarmandoo@hotmail.com

Adicinéia Aparecida de Oliveira  
Federal University of Sergipe  
Computer Science Department  
Aracaju, Sergipe  
adicineia@gmail.com

### ABSTRACT

Several methods, languages and tools have been used in software engineering projects. At critical stages of the software life cycle this practice can lead to defects in the software product. This article aims to present the results of a systematic review that seeks to analyze the use of SysML extensions in modeling and requirements specification and to present the proposals found and make an assessment on the state of the art application of SysML in phases related to engineering requirements on software development.

### RESUMO

Diversos métodos, linguagens e ferramentas têm sido utilizados em projetos de engenharia de software. Em fases críticas do ciclo de vida do software esta prática pode levar a defeitos no produto de software. Este artigo tem como objetivo apresentar os resultados de uma revisão sistemática que busca analisar a utilização de extensões da SysML na modelagem e especificação de requisitos bem como apresentar as propostas encontradas e fazer uma avaliação sobre o estado da arte da aplicação da SysML nas fases relativas a Engenharia de requisitos no desenvolvimento de software.

### Categories and Subject Descriptors

Software design engineering - Software creation and management

### Keywords

SysML Extension, SysML, Requirements Engineering.

### Palavras-Chave

SysML Extensão, SysML, Engenharia de Requisitos.

## 1. INTRODUÇÃO

Diversos métodos, linguagens e ferramentas têm sido utilizados em projetos de engenharia de software, mesmo antes de serem formalmente avaliados na prática.

O [9] aponta a engenharia de requisitos como uma das tarefas mais complexas e desafiadoras para o desenvolvimento de software. Isso se deve ao fato dela está diretamente relacionada com as definições do que o software deve fazer.

Segundo [4], em fases críticas do ciclo de vida do software, tais como engenharia de requisitos, são gerados problemas e defeitos no produto de software. Eles afirmam que nas atividades de concepção do software são geralmente introduzidos de 50% a 65% dos defeitos durante o processo de desenvolvimento de software.

Nesse contexto [7] a Systems Modeling Language (SysML) possui diagramas e construções, que podem ser aplicados a atividades de engenharia de requisitos e dessa forma gerar uma melhoria nesta fase do projeto.

Para conhecer a SysML e sua aplicação em fases relacionadas a engenharia de requisitos, é necessário conhecer o estado da arte da utilização SysML. Com esse objetivo, foi realizada uma revisão sistemática que abrange o período de 2010 a 2015. Este artigo apresenta os resultados obtidos e uma breve análise.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: A seção 2 descreve o protocolo de revisão sistemática, a seção 3 faz uma descrição sobre SysML, a seção 4 expõe brevemente a Engenharia de Requisitos, o item 5 representa o resultado da revisão sistemática e a seção 6 faz um resumo dos trabalhos selecionados. Por fim, a seção 7 apresenta a análise dos resultados e a seção 8 a conclusão.

## 2. PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA

Essa seção apresenta o protocolo utilizado para a aplicação da revisão sistemática deste artigo, que tem como objetivo encontrar estudos sobre a utilização de extensões da linguagem SysML no processo de desenvolvimento de Software.

As perguntas utilizadas para realizar as buscas deste artigo foram:

Pergunta 1: Existem propostas de extensão da SysML com o foco no processo de desenvolvimento de Software?

Pergunta 2: O que as propostas propõem?

Os critérios de seleção de fontes são:

- Consultas de artigos através da web;
- Utilização de mecanismos de busca através de palavras-chave; e,
- Artigos publicados entre 2010 e 2015.

Os critérios de inclusão são:

- Devem apresentar textos completos dos estudos em formato eletrônico;
- Os arquivos devem estar descritos em inglês;
- Os artigos devem apresentar estudos sobre Extensões de SysML; e,
- O título deve possuir referência a extensões de SysML.
- O resumo deve possuir referência a Diagrama de Requisitos ou a Especificação.

O critério de exclusão escolhido para esse trabalho é:

- Não devem existir artigos que não relatem propostas de extensões relacionadas as fases relacionadas a engenharia de requisitos no desenvolvimento de Software.

As consultas ocorreram nas bases da IEEEExplorer, ACM e nos Periódicos CAPES. A String de busca utilizada foi:

- (((“SysML Extension”) or (Title:SysML”)) and (“Requirements Engineering”)).

### 3. SYSML

Systems Modeling Language, SysML é uma linguagem de modelagem especificada pelo Object management Group (OMG). Ela apoia a análise, especificação, projeto, verificação e validação de sistemas e foi criada a partir do mecanismo de extensões da (Unified Modeling Language) UML, linguagem para a elaboração de projetos de software, através de um vocabulário adicional, específico para a modelagem de sistemas, mantendo e alterando alguns diagramas da UML [1]. Na Figura 1 pode se observar os diagramas da SysML e sua relação com a UML.

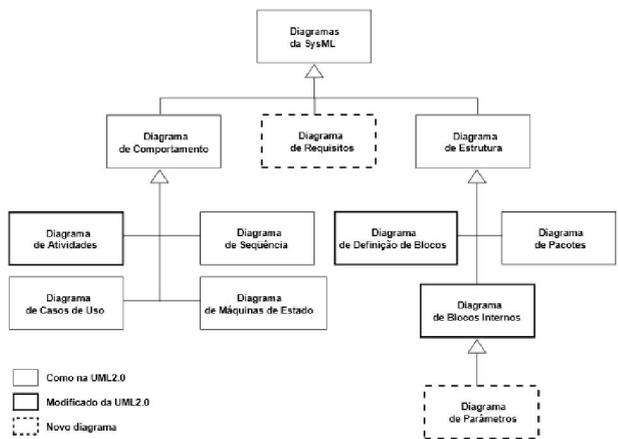


Figura 1 - Diagramas SysML

Fonte: [12].

A SysML reutiliza um subconjunto de UML e disponibiliza diagramas adicionais necessários para fornecer suporte para a especificação, análise, desenho, verificação e validação de sistemas. Inclui hardware, software, dados, pessoas, processos e infraestrutura [1]. Na Figura 2, é possível visualizar como a SysML se relaciona com a UML em alguns de seus modelos e extensões.

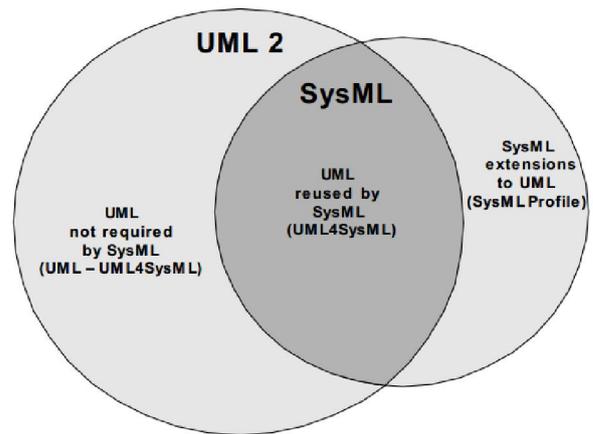


Figura 2 - Comparativo UML x SysML

Fonte: [1].

### 3.1 Estrutura da SysML

Na SysML os diagramas são organizados em diagramas estruturais, diagramas comportamentais e diagramas transversais [12].

#### 3.1.1 Diagramas Comportamentais

- Diagramas de Caso de Uso: usado para representar as funcionalidades propostas para o sistema. Casos de Uso descrevem as interações entre usuários do sistema e o próprio sistema.
- Diagrama de Máquina de Estados: o objetivo desse diagrama é exibir o comportamento do sistema através de sequências de estados que um componente pode assumir em resposta a eventos.
- Diagrama de Atividades: utilizado para demonstrar o comportamento através de fluxos de entrada, saída e controle.
- Diagrama de Sequência: utilizado para representar as interações entre objetos através de mensagens. Mensagem é o serviço solicitado por um objeto a outro, e a respectiva resposta da solicitação.

#### 3.1.2 Diagramas Estruturais

- Diagrama de Definição de Blocos: é utilizado para definir as características dos blocos em termos de características estruturais e comportamentais, e as relações entre os blocos, tais como a sua relação hierárquica. Extensões do diagrama são utilizadas para definir restrições paramétricas e também para mostrar uma hierarquia das atividades.
- Diagrama de Bloco Interno: é aplicado para descrever a estrutura interna de um bloco em termos de como as suas partes estão interligadas.

- Diagrama Paramétrico: representa as restrições entre os elementos estruturais; as restrições são criadas a partir de sistemas equações.

- Diagrama de Pacotes: descreve os pacotes ou partes do sistema dividido em agrupamentos lógicos mostrando as dependências entre eles, ou seja, pacotes podem depender de outros pacotes. Podem ser utilizados para ilustrar a arquitetura de um sistema, as camadas, subsistemas, pacotes.

#### 3.1.3 Diagramas Transversais

- Diagrama de Requisitos: representa hierarquias entre requisitos e sua relação com outros elementos do modelo. Na Figura 3 vemos um diagrama de requisitos básico. Nota-se que é possível através desse diagrama modelar requisitos, de forma que gere uma clareza sobre o relacionamento e dependência entre eles, permitindo uma análise de impacto sobre possíveis alterações.

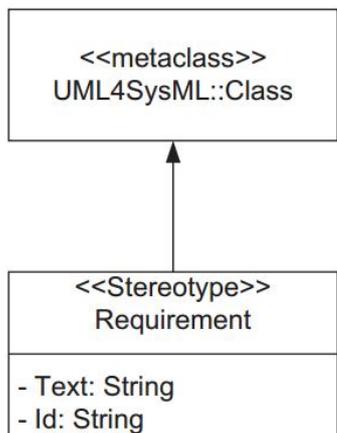


Figura 3 - Diagrama de Requisitos básico.

Fonte: [7]

#### 4. ENGENHARIA DE REQUISITOS

A Engenharia de Requisitos (ER) desempenha um papel importante, pois serve de base para as demais atividades do processo e colabora decisivamente para o sucesso do projeto de software[8].

Nesse contexto, o sucesso no desenvolvimento de um software é medido principalmente pela forma com que ele realiza a tarefa para qual foi proposto[5].

O [9] divide a engenharia de software em várias áreas de conhecimento. Dentre as áreas apontadas pelo guia existe a engenharia de requisitos. A engenharia de requisitos é apontada, como uma das tarefas mais complexas e desafiadoras para os engenheiros e analistas de sistemas. Isso se deve ao fato dela estar diretamente relacionada com as definições do que o sistema deve fazer.

Segundo [10], não existe forma incontestável de assegurar que a especificação de um sistema está propriamente de acordo com as características desejadas pelo cliente, e que satisfaz suas necessidades. Esse é um desafio complexo enfrentado pelos engenheiros de software, e o melhor modo de tratá-lo é através de um processo consistente de engenharia de requisitos. Na Figura 4 é possível visualizar o todas as fases do processo da engenharia de Requisitos.

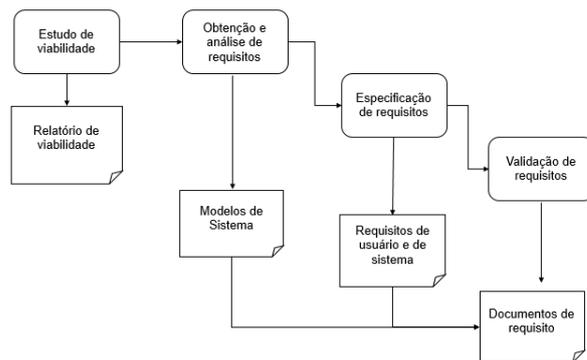


Figura 4 - Processo de Engenharia de Requisitos

Fonte: [8].

Dessa forma torna-se necessário entender como a SysML pode apresentar melhorias aos problemas da ER. Por esse motivo, na seção 5 é apresentado o resultado de uma revisão sistemática que teve como objetivo conhecer a SysML e sua aplicação em fases do desenvolvimento de software relacionadas a engenharia de requisitos.

#### 5. RESULTADO DA REVISÃO SISTEMÁTICA

Esta seção deve apresentar as observações feitas durante a pesquisa. Se possível, é importante indicar os passos que deverão ser seguidos para a continuação do trabalho.

Os resultados obtidos pela aplicação dos métodos de seleção dos trabalhos são mostrados de forma quantitativa na Tabela 1, sendo que a primeira coluna apresenta os métodos utilizados do protocolo, enquanto que as demais apresentam as fontes de pesquisa utilizadas para a investigação e a quantidade de artigos encontrada para cada método e fonte.

Tabela 1 – Resultado quantitativo dos artigos encontrados.

Métodos do Protocolo	IEEE	SPRINGER	ACM
Strings de busca	25	1	11
Período de 2010 a 2015	20	1	9
Crítérios de inclusão	5	1	8
Leituras dos resumos	4	1	3
Crítérios de Exclusão	2	1	2

Os trabalhos selecionados após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão são: [7], [3], [6], [11] e [2]. O Gráfico 1 apresenta a quantidade de trabalhos encontrados no período pesquisado por base de pesquisa.



Gráfico 1 - Publicações por base de pesquisa e ano.

Pode-se notar que esse é um tema recente e que o período entre 2012 e 2014 obteve destaque, havendo uma maior quantidade de publicações sobre o assunto. A seção 6 apresenta o resumo dos trabalhos selecionados.

## 6. RESUMO DOS TRABALHOS SELECIONADOS

O trabalho de [7], pretende avaliar o uso da SysML em atividades como analisar e especificar requisitos. A justificativa para a utilização da SysML ocorre principalmente pelo fato desta ser uma linguagem que fornece um diagrama específico para modelar requisitos.

O diagrama de requisitos SysML abrange os aspectos mais importantes da Engenharia de Requisitos, que são parcialmente abordadas ou não abordadas em absoluto por outras técnicas. São utilizadas exemplos de questões como a rastreabilidade entre os requisitos, bem como a modelagem de outros tipos de requisitos além dos funcionais. Outra razão é que SysML é amplamente baseado em UML, uma linguagem de modelagem bem conhecida e considerada a linguagem de modelagem de fato na indústria.

[7] aplicou a SysML em uma série de projetos em distintas áreas de conhecimento, tais como grandes telescópios, fabricação de automóveis, automação nuclear e sistemas de gestão do tráfego rodoviário.

Ainda de acordo com [7], SysML pode se tornar a linguagem de escolha para especificação de requisitos, tendo em vista que a linguagem pode ser adaptada e integrada a metodologias e processos existentes. Além disso, SysML é baseada em UML, que é amplamente conhecida e utilizada, tanto no meio acadêmico quanto indústria de software. Dessa forma, SysML é considerado facilmente introduzida para as equipes que já estão usando UML. A grande preocupação deve ser encontrar a relação correta entre os diagramas da UML e os da SysML.

[6] apresenta uma análise sobre a modelagem de requisitos utilizando os diagramas da SysML e sua compreensão, partindo da premissa que os defeitos de software podem ser gerados caso os requisitos sejam ambíguos, incompletos ou inconsistentes. Esses problemas na modelagem e especificação dos requisitos podem gerar um impacto sobre a qualidade do produto de software.

Nota-se do trabalho que a adoção da SysML, é justificada pela alegação de que seus diagramas possibilitam o aumento da compreensão dos sistemas de software complexos.

Nesta perspectiva são utilizadas algumas investigações empíricas para avaliar os benefícios decorrentes do uso desses diagramas.

O artigo apresenta os resultados de um experimento controlado, realizado para uma abordagem planejada para estabelecer a rastreabilidade entre os requisitos e modelos SysML.

Essa abordagem foi concebida para filtrar os detalhes irrelevantes, facilitando a inspeção e compreensão. Os resultados indicaram uma diminuição significativa no tempo de conclusão e um aumento da exatidão.

O artigo de [2] concentra-se em requisitos não funcionais, com a justificativa de que abordar questões importantes de qualidade é vital para o sucesso de sistemas de software. Assim, é proposta uma extensão para o diagrama de requisitos SysML possibilitando que seu meta-modelo permita que se represente os requisitos não funcionais, em um nível mais alto de abstração, juntamente com as relações entre eles.

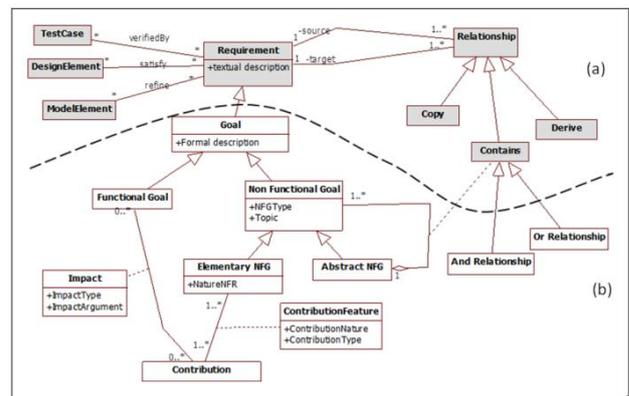


Figura 5 - Extensão meta-modelo SysML.

Fonte: [2]

Na figura 5 é apresentada a proposta de extensão do meta-modelo do diagrama de requisitos do SysML.

Ainda sobre a extensão, de acordo com [2], é possível analisar o impacto dos requisitos não-funcionais sobre os requisitos funcionais através das propriedades:

- **impactType** - pode ser positivo ou negativo. Um impacto positivo significa que o requisito não funcional em questão pode impactar positivamente a realização do requisito funcional relacionado. E o impacto negativo significa que o requisito não funcional pode ter um impacto negativo sobre a realização do requisito funcional relacionado;
- **impactArgument** - esta propriedade se destina a capturar alguns argumentos ou justificativas.

Assim é possível visualizar como os requisitos não funcionais podem afetar positiva ou negativamente os objetivos funcionais.

[11] propõe uma extensão do SysML para ser aplicada na concepção dos sistemas de informação.

A proposta abrange a criação de um perfil SysML onde pode ser modelado um diagrama de requisitos a partir da extensão para os requisitos não funcionais apresentada na Figura 6.

Para esta dar suporte a extensão foi implementado um plugin para a ferramenta de modelagem MagicDraw.

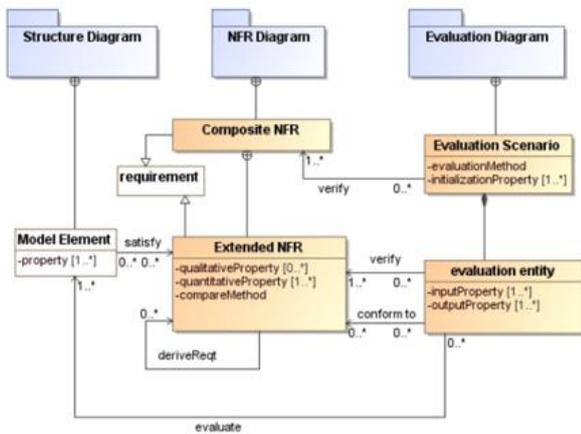


Figura 6 - Avaliação de Desempenho

Fonte: [11]

O Artigo apresenta também a avaliação de desempenho através da extensão do diagrama de requisitos da SysML. Na Figura 7 é apresentada a essa extensão.

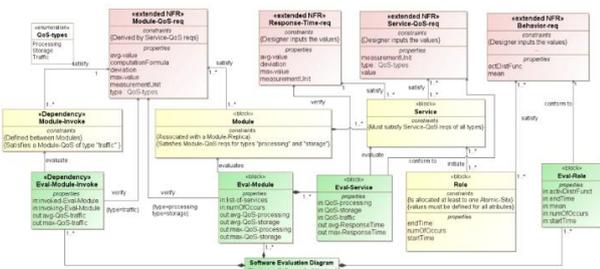


Figura 7 - Avaliação de Desempenho

Fonte: [11]

[3] propõe adoção de um extensão da SysML em projetos que utilizam abordagem baseada em modelos para o desenvolvimento de sistemas (MBSE), com o intuito de reduzir custos no processo de desenvolvimento.

O trabalho descreve a criação da “CASSI”, uma ferramenta que avalia os requisitos não-funcionais; desempenho e disponibilidade de modelos, focando em sua reutilização. Na Figura 8 é apresentado o fluxo de funcionamento da CASSI.

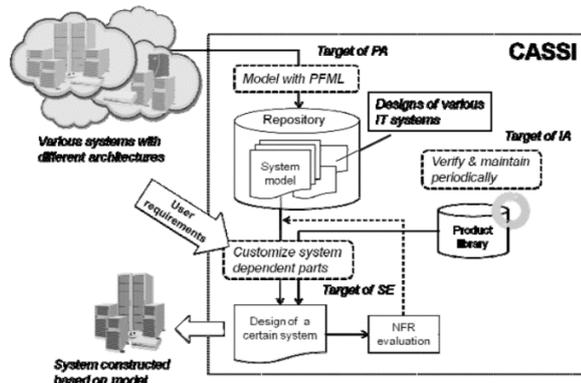


Figura 8 - Visão geral da utilização da CASSI

Fonte: [3]

De acordo com [3] a CASSI possui dois objetivos, que são a reutilização de modelos de sistemas e avaliação os requisitos não funcionais (NFRs), através da extensão da SysML proposta.

Essa extensão que sejam criadas propriedades para os componentes de um modelo de sistema, possibilitando uma verificação e avaliação a cada interação entre os modelos.

Os quatro artigos selecionados para essa revisão sistemática foram apresentados nessa seção. A próxima seção apresenta uma análise de resultados desses artigos.

## 7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Por meio desta revisão sistemática observa-se que as publicações sobre SysML são recentes.

O Quadro 1 demonstra quais grupos de diagramas da SysML foram abordados pelos autores.

Quadro 1 - Diagramas SysML abordado pelos Autores

Diagramas/Autores	[3]	[11]	[4]	[6]	[7]
Diagramas Comportamentais	X				
Diagramas Estruturais	X	X			
Diagramas Transversais			X	X	X

O Quadro dois apresenta os autores quanto a criação de extensões da SysML e ferramentas.

Quadro 2 - Autores, extensões e ferramentas

Extensões e ferramentas / Autores	[3]	[11]	[4]	[6]	[7]
Extensão	X	X	X		
Ferramenta	X	X			
Redução de Custos	X	X	X	X	X

Nota-se que através do Quadro 1 que os três grupos de diagramas da SysML foram mencionados nos artigos.

Nesse contexto os diagramas transversais foram mencionados em 60% dos artigos, os diagramas estruturais em 40% e os comportamentais em 20%. Sendo que em um artigo foram mencionados digramas comportamentais e estruturais.

No Quadro 2 observa-se que 40% dos artigos não propõem ferramentas e extensões, contudo mencionam o a possibilidade de cria-las como uma importante característica.

Ainda sobre o Quadro 2 nota-se que 20% dos artigos propõem somente extensões e 40% propõem tanto extensões quanto ferramentas.

## 8. CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho foi descrever uma revisão sistemática com o intuito de conhecer o estado da arte da utilização de extensões SysML no processo de desenvolvimento de software. Foram selecionados cinco artigos e por meio de análise notou-se

que a possibilidade de estender a SysML como forma de resolver questões relacionadas as fases de modelagem e especificação de requisitos da ER tem sido objeto de estudo nas bases utilizadas na pesquisa.

Os cinco artigos apresentam pontos de vistas diferentes sobre os diagramas a serem utilizados e as extensões propostas, contudo como visto nos itens 6 e 7 deste trabalho, todos artigos apontam para a possibilidade efetiva da diminuição de problemas como ambiguidade e especificação incompleta dos requisitos a partir da utilização de extensões, diagramas e construções da SysML.

Outro aspecto citado nos artigos selecionados é a possibilidade de analisar e mensurar o impacto que os requisitos não funcionais podem causar em requisitos funcionais diante da construção de extensões ou mesmo da análise do diagrama de requisitos da SysML.

Para trabalhos futuros é possível sugerir estudos na aplicação de extensões da SysML para hierarquia de requisitos e o relacionamento entre eles.

Outro trabalho futuro seria um estudo mais detalhado sobre a possibilidade de transformação de digramas de requisitos da SysML em outros diagramas como o de classes da UML a partir de técnicas de transformações de modelos e alterações de meta-modelos..

## 9. REFERÊNCIAS

- [1] FRIEDENTHAL, S.; MOORE, A.; STEINER, R. OMG Systems Modeling Language (OMG SysMLTM) Tutorial 11. Management, n. September, 2015.
- [2] GNAHO, C.; SEMMAK, F.; LALEAU, R. An overview of a SysML extension for goal-oriented NFR modelling: Poster paper. Research Challenges in Information Science (RCIS), 2013 IEEE Seventh International Conference on, p. 1–2, 2013.
- [3] IZUKURA, S. et al. Applying a Model-Based Approach to IT Systems Development Using SysML Extension. Models, v. 6981, p. 563–577, 2011.
- [4] MOHAN, P.; SHANKAR, A. U.; JAYASRIDEVI, K. Quality Flaws: Issues and Challenges in Software Development. Computer Engineering and Intelligent System. ISSN 2222-1719 (Paper) ISSN 2222-2863 (Online). Vol 3, No.12, 2012
- [5] NUSEIBEH, Bashar; EASTERBROOK, Steve. Requirements Engineering: a Roadmap. ACM - Future of Software Engineering. 2000. pp 37-45
- [6] SCANNIELLO, G. et al. On the Effect of Using SysML Requirement Diagrams to Comprehend Requirements : Results from Two Controlled Experiments. 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, p. 433–442, 2014.
- [7] SOARES, M. S.; DO NASCIMENTO, R. P. C. Evaluation of SysML diagrams to document requirements using TAM. Proceedings of the 7th Euro American Conference on Telematics and Information Systems - EATIS '14, p. 1–6, 2014.
- [8] SOMMERVILLE, I. Engenharia de Software. 8ª ed. – São Paulo: Pearson Addison-Wesley, 2007.
- [9] SWEBOOK 2004, Guide to the Software Engineering Body of Knowledge, 2004. Disponível em [http://www.math.unipd.it/~tullio/IS-1/2005/SWEBOOK\\_Guide\\_2004.pdf](http://www.math.unipd.it/~tullio/IS-1/2005/SWEBOOK_Guide_2004.pdf). Acessado em 08/12/2015.
- [10] PRESSMAN, R. S. Engenharia de Software. 6ª ed. – Porto Alegre, 2010.
- [11] TSADIMAS, A.; NIKOLAIDOU, M.; ANAGNOSTOPOULOS, D. Extending SysML to explore non-functional requirements: the case of information system design. Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on Applied Computing, p. 1057–1062, 2012.
- [12] T. Weikiens, “Introduction,” in Systems Engineering with SysML/UML, Elsevier, 2007, pp. 1–22.