

Catálogo de Requisitos de Sustentabilidade: Um Estudo Preliminar

Abimael Santos¹[0009-0003-7555-6927], Quelita Ribeiro¹[0000-0002-5045-3660],
Jaelson Castro¹[0000-0002-4635-7297], and Maria Lencastre²[0000-0002-8032-8801]

¹ Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil
{ajfs, qadsr, jbc}@cin.ufpe.br

² Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil
mlpm@ecom.poli.br

Resumo. Contexto: Como engenheiros de software é essencial alinharmos os sistemas desenvolvidos na academia e na indústria às diretrizes de sustentabilidade e garantir a construção de softwares sustentáveis que tratem os potenciais efeitos a longo prazo ao invés do retorno imediato. Objetivos: Esse estudo tem como objetivo propor um catálogo de requisitos de sustentabilidade preliminar, chamado NFR4SUSTAIN, que aborda as dimensões de sustentabilidade econômica, social e técnica. Métodos: Para elaboração do estudo foi empregado um método de pesquisa de engenharia, no qual analisou-se soluções existentes na literatura e de forma exaustiva foi proposto melhorias e refinamentos até não ser mais possível encontrar novos *insights*. As etapas incluíram Levantamento de Informações, Desenvolvimento do Catálogo e a sua Avaliação. Resultados: Este catálogo ajudará os desenvolvedores de sistemas a incorporarem NFRs relacionados à sustentabilidade em seus projetos, bem como possibilitará que stakeholders selecionem sistemas adequados com base em requisitos de sustentabilidade.

Palavras-chave: Sustentabilidade · Software · Engenharia de Requisitos.

1 Introdução

Quando falamos sobre software sustentável é importante diferenciar entre o software apoiar a sustentabilidade (*Green By Software*) e o próprio software ser sustentável (*Green In Software*). Nesse trabalho o foco está em *Green In Software*, pois temos como objetivo principal incluir a sustentabilidade no desenvolvimento de software e nas demais fases da Engenharia de Software [1].

A Engenharia de Requisitos (ER) é um ponto chave para promoção da sustentabilidade de sistemas de software [2], pois torna possível por meio do pensamento sistêmico identificar os objetivos e preocupações de sustentabilidade e interpretá-los no domínio de requisitos de software [3]. As preocupações de sustentabilidade devem ser abordadas desde as fases de elicitação e especificação de requisitos [4], já que a ER tem consequências no ciclo de desenvolvimento

de software e no ciclo de vida do próprio sistema de software [5]. Portanto, será possível incluir as preocupações de sustentabilidade em toda vida do sistema de software, desde sua concepção até o fim de uso do sistema.

Por sustentabilidade pode ser entendido como o ato de “perdurar” ou de “algo durar por muito tempo”. Porém, essa definição não aborda a sustentabilidade por completo. Para que ocorra uma melhor interpretação do que realmente significa ser algo sustentável, visualizamos a sustentabilidade como um conceito sistemático englobando um conjunto de 5 dimensões: ambiental, social, econômica, individual e técnica [3]: (1) A dimensão ambiental preocupa-se nos efeitos a longo prazo da intervenção humana no meio ambiente; (2) A dimensão social foca nos impactos causados na sociedade; (3) A dimensão econômica foca na manutenção de ativos, capital e lucro; (4) A dimensão individual concentra-se no bem-estar dos seres humanos como indivíduos; (5) A dimensão técnica é focada na longevidade dos sistemas de software, da infraestrutura e da informação.

Recorrentemente quando a sustentabilidade é abordada, o principal pilar exposto é o ambiental [6]. Entretanto é necessário abordar as demais dimensões de sustentabilidade, pois somente quando é alcançado um equilíbrio entre todas as dimensões é quando de fato a sustentabilidade é alcançada [7, 8]. Porém atingir este equilíbrio não é uma tarefa trivial, devido as relações intra-dimensionais e interdimensionais [9].

Para garantir a sustentabilidade do software é crucial levar em consideração os potenciais efeitos a curto, médio e longo prazo ocasionados pelo software. Estes efeitos são divididos em ordens de primeiro, segundo e terceiro grau respectivamente: (1) Os efeitos de primeira ordem são os efeitos diretos proporcionados pela existência do software; (2) Os efeitos de segunda ordem são os efeitos indiretos ocasionados pelo uso contínuo do sistema; (3) Os efeitos de terceira ordem são as mudanças estruturais originadas a médio e longo prazo pelo uso do sistema.

Como engenheiros de software é essencial alinharmos os sistemas desenvolvidos na academia e na indústria as diretrizes de sustentabilidade e garantir a construção de softwares sustentáveis que tratem os potenciais efeitos a longo prazo ao invés do retorno imediato. Esse trabalho tem como objetivo propor um catálogo de requisitos de sustentabilidade, chamado **NFR4SUSTAIN**, englobando as dimensões econômica, social e técnica. As demais dimensões, ambiental e individual, serão objeto de trabalhos futuros.

Este catálogo ajudará os desenvolvedores de sistemas a incorporarem Requisitos Não-Funcionais (*Non-Functional Requirements* - NFRs) relacionados à sustentabilidade em seus projetos, bem como possibilitará que stakeholders selecionem sistemas adequados com base em requisitos de sustentabilidade.

As demais seções estão organizadas da seguinte forma: a Seção 2 contém a metodologia empregada por esse estudo para criação do catálogo, a seguir na Seção 3 é apresentado o catálogo desenvolvido, a Seção 4 discorre sobre a avaliação realizada do catálogo, na Seção 5 é mostrado os trabalhos relacionados, e por fim, na Seção 6 são debatidas as conclusões e trabalhos futuros.

2 Metodologia

Para desenvolvimento do catálogo foi adotado uma metodologia qualitativa utilizando o método de pesquisa de engenharia proposto por [10]. O método de engenharia consiste em um procedimento evolutivo, a partir da análise de soluções existentes é proposto melhorias e mudanças para originar novas soluções mais adequadas. Elas então são desenvolvidas e analisadas, com estas etapas repetidas até que não seja possível propor nenhuma melhoria adicional.

Para realização de um estudo empírico é necessário seguir uma série de etapas bem definidas [11]. O procedimento seguido para construção do catálogo NFR4SUSTAIN contém 3 etapas e 7 tarefas estabelecidas. As etapas são: (1) Levantamento, (2) Desenvolvimento e (3) Avaliação. O procedimento seguido por essa pesquisa é exibido na Figura 1.

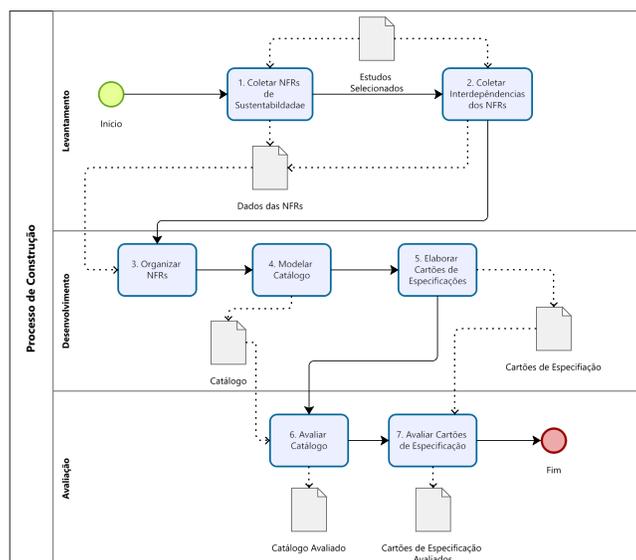


Fig. 1. Processo de Construção do Catálogo de Requisitos

Na primeira fase de levantamento, foram realizadas as tarefas 1 e 2 para identificação de NFRs de Sustentabilidade e identificação das interdependências dos NFRs de Sustentabilidade respectivamente. Para investigação dos componentes fundamentais do catálogo foram analisadas diversas pesquisas relevantes que abordam o tema de requisitos e sustentabilidade. Identificamos as propriedades de qualidade de sustentabilidade e suas interdependências, que englobam o catálogo de requisitos de sustentabilidade.

Para obtenção dos estudos analisados nas tarefas 1 e 2, foi empregado a técnica de *snowballing*. O estudo primário escolhido para realização da busca foi

o trabalho Moreira et. al [9], que foi considerado como base inicial para concepção dessa pesquisa. Ele é um estudo recente que aborda uma proposta de um catálogo de requisitos de sustentabilidade das dimensões social e técnica. Nossa meta é melhorar as dimensões já apresentadas por eles [9], acrescentar uma nova dimensão e melhorar as definições dos requisitos presentes no catálogo, preservando na medida do possível as denominações empregadas, para evitar possíveis confusões ou erros de terminologia. Devido o estudo escolhido ser recente não foi realizado uma *snowballing* para frente. Portanto somente foi efetivado um *snowballing* para trás, o qual retornou 15 estudos ([12], [1], [3], [2], [5], [7], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21]).

Após identificação dos NFRs e suas interdependências prosseguimos para a fase de desenvolvimento, com a tarefa 3 de organizar os NFRs, que separou cada requisito encontrado em sua respectiva dimensão, analisou-se a sua importância para aquela dimensão e se era plausível ela fazer parte do catálogo. Ao final foram identificados cerca de 15 atributos de qualidade principais e 38 atributos dependentes (Tabela 1).

Na tarefa 4, o catálogo em si foi criado por meio do NFR Framework, que permite criar uma estrutura de requisitos denominada *Softgoal Interdependency Graphs (SIG)*. O *NFR Framework* foi escolhido por ser apropriado para modelagem de requisitos não-funcionais [22]. A notação permite a representação de requisitos prioritários, operacionalizações, afirmações para justificar a escolha de requisitos, priorizações e refinamentos. Além disso, possibilita a visualização das interconexões entre os requisitos, incluindo suas contribuições positivas, negativas e neutras, bem como a exposição de interdependências implícitas e explícitas, sua capacidade de avaliar o grau de satisfação em que o requisito foi alcançado, que o torna capaz de lidar com NFRs de naturezas distintas e suas interações [22].

A tarefa 5, da fase de desenvolvimento, lidou com a elaboração dos cartões de especificação. Para cada requisito do catálogo foi criado um respectivo cartão de especificação, contendo o rastreamento da origem do requisito, uma descrição de seu significado, a qual dimensão ele pertence, a justificativa dele ser escolhido como parte do catálogo, suas dependências e suas interdependências.

A tarefa 6, da fase de avaliação, foca na avaliação da representação gráfica do catálogo (SIG), enquanto a tarefa 7 analisa os cartões de especificação. Preliminarmente, ambas foram realizadas por intermédio de questionários aplicados em duas turmas da disciplina de Engenharia de Requisitos, sendo uma turma da graduação e outra de pós-graduação de duas universidades distintas. Em ambos os casos, primeiramente foi realizado uma dinâmica com apresentação do catálogo e seu uso, em seguida foi solicitado a opinião dos alunos e que respondessem o questionário com base em seus conhecimentos.

3 O Catálogo

O catálogo abrange 15 atributos de qualidade principais e 38 atributos de qualidade dependentes. A Tabela 1 explicita todas os requisitos encontrados, suas

dependências e a quais dimensões de sustentabilidade eles pertencem, que em seguida, serão apresentados em forma gráfica (através de um SIG), os NFRs das dimensões econômica, social e técnica. Cada NFR é acompanhado de um cartão de especificação.

O requisito principal pode ter uma conexão de dependência ou de interdependência com outros requisitos. As dependências são conexões diretas entre um atributo “pai” e um ou mais atributos “filho”, que indica quais requisitos “filhos” pertencem/contribuem para o requisito “pai”. As interdependências são contribuições indiretas que indicam quais requisitos podem ajudar ou atrapalhar outros requisitos, por exemplo, um sistema considerado seguro contribui positivamente para a confiança do sistema.

Tabela 1. Atributos de Sustentabilidade

#	Atributo principal	Atributos Secundários	Econômica	Social	Técnica
1	Adequação Funcional	Aprimoramento funcional			
		Correção funcional			
		Completeness funcional			
2	Cobertura de Contexto	Completeness			
		Flexibilidade			
3	Compatibilidade	Coexistência			
		Interoperabilidade			
4	Confiabilidade	Disponibilidade			
		Recuperabilidade			
		Tolerância a Falhas			
		Maturidade			
5	Desempenho	Capacidade			
		Comportamento Temporal			
		Utilização de Recursos			
6	Eficácia				
7	Eficiência				
8	Extensibilidade				
9	Justiça				
10	Manutenibilidade	Modificabilidade			
		Reutilização			
		Modularidade			
		Testabilidade			
		Analisabilidade			
11	Mitigação de riscos	Mitigação de riscos econômicos			
		Mitigação de riscos ambientais			
		Mitigação de riscos de saúde e segurança			
		Legislação			
12	Portabilidade	Adaptabilidade			
		Instabilidade			
		Substituíbilidade			
13	Satisfação	Confiança			
		Utilidade			
14	Segurança (Security)	Responsabilidade			
		Autenticidade			
		Confidencialidade			
		Integridade			
		Sem Repúdio			
15	Usabilidade	Reconhecimento de Adequação			
		Acessibilidade			
		Aprendizagem			
		Operabilidade			
		Proteção contra erros			

A dimensão econômica (vide Fig. 2) contém 10 atributos de qualidade principais: **Satisfação** (em termos de Confiança e Utilidade), em termos econômicos, o software ser confiável e útil ajuda na aceitação e adesão do sistema pelos usuários, aumentando a venda e utilização do sistema; **Confiabilidade** (no sentido de Recuperabilidade e Disponibilidade), enquanto o software estiver disponível para utilização ele também estará gerando lucro e valor, em caso do sistema ficar fora por causa de alguma falha ou erro, conseqüentemente ocorrerá prejuízos, por isso a recuperabilidade é importante para evitar perda de dados e retorno das atividades do sistema, garantido a diminuição do prejuízo em caso de falhas; **Mitigação de risco** (de Mitigação de riscos econômicos), ter mecanismos para diminuição de riscos econômicos é essencial para evitar grandes gastos de recursos, despesas excessivas e garantir uma operação eficiente; **Manutenibilidade** (de Reutilização e Modificabilidade), a manutenção do software ajuda na adesão de exigências do mercado posteriores ao lançamento do sistema, além de também evitar a obsolescência e perda do produto, para isso é necessário possibilitar a modificação do sistema de forma fácil e que não comprometa a qualidade do sistema. Outro fator importante para diminuição de gastos é a possibilidade de reutilização de componentes do sistema ou do sistema como um todo; **Cobertura de Contexto** (de Flexibilidade e Completude), garante que o sistema possa ser utilizado no contexto ao qual ele foi especificado e em outros contextos não especificados, a completude garante a utilização do sistema no seu ambiente pro-posto e a flexibilidade evita que seja necessário desenvolver um produto específico para cada contexto e com isso evitar gastos; **Adequação Funcional** (de Aprimoramento funcional, Completude funcional e Correção funcional), um sistema que facilite a realização das tarefas, que seja capaz de funcionar corretamente, cumprindo todas as suas funções e fornecendo resultados corretos, é adequado para competir no mercado; **Eficiência**, um sistema que usa os recursos de forma eficiente ajuda na diminuição de gastos; **Eficácia**, assegura que os objetivos daqueles que utilizam o sistema sejam alcançados, satisfazendo assim os stakeholders e servindo ao propósito ao qual foi desenvolvido, garantindo a adesão do sistema pelos usuários e aumentando ou mantendo o lucro; **Portabilidade** (nos termos de Substitutibilidade), permitir que um sistema possa substituir outro já existente evita gastos com retrabalhos ou modificações; por fim, **Usabilidade** (de Proteção contra erros), ao evitar que os usuários cometam erros, é melhorado a experiência de utilização do sistema e reduzido os custos de correção dos erros.

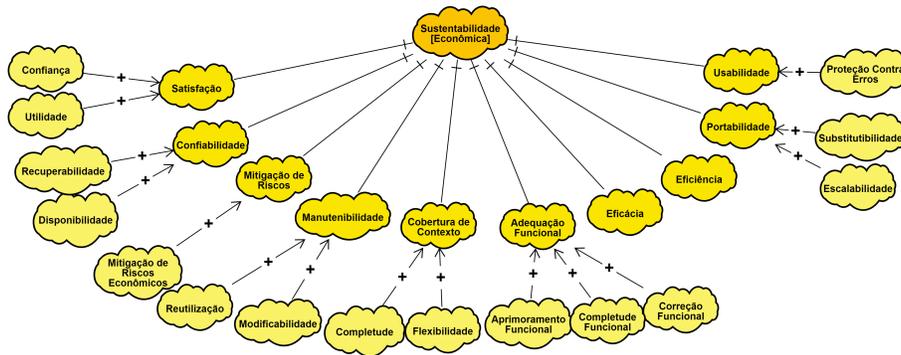


Fig. 2. Requisitos de Sustentabilidade: Dimensão Econômica

Na Dimensão Social (vide Fig. 3) temos 8 atributos de qualidade principais: **Segurança** (em termos de Responsabilidade, Autenticidade, Confidencialidade, Integridade e Sem Repúdio), o sistema deve ser responsável pela proteção e confidencialidade das informações, garantindo que nenhum acesso não autorizado seja efetuado, que somente o usuário específico tenha acesso aos seus dados referentes e que somente consiga realizar as suas ações atribuídas sem extrapolar seu nível de acesso, garantido a integridade das informações e evitando assim um possível repúdio posteriormente; **Mitigação de riscos** (de Mitigação de riscos de saúde e segurança, mitigação de riscos ambientais e Legislação), é essencial que o software não ofereça nenhum risco a saúde e segurança da sociedade, para isso deve-se seguir a legislação vigente para garantir que os direitos da sociedade sejam mantidos e que os problemas ambientais sejam levados em consideração; **Eficácia**, assegura que os objetivos daqueles que utilizam o sistema sejam alcançados, satisfazendo assim os stakeholders e servindo ao propósito ao qual foi desenvolvido; **Justiça**, um sistema justo previne que ocorra preconceitos com todos os tipos de usuários independente de gênero, sexualidade, cor de pele, etc.; **Confiabilidade** (de Disponibilidade), a sociedade é favorecida quando um sistema que satisfaça suas necessidades está constantemente disponível; **Compatibilidade** (de Interoperabilidade e Coexistência), a troca de informações entre sistemas e a capacidade de existência de ambos os sistemas facilita a utilização pela sociedade; **Satisfação** (no sentido de Confiança e Utilidade), um sistema útil e confiável aumenta a satisfação e seu valor pela sociedade que o utiliza; **Usabilidade** (de Reconhecimento de adequação, Proteção contra erros, Aprendizagem, Operabilidade e Acessibilidade), um sistema de grau elevado de usabilidade é aquele capaz de atender a necessidades do usuário, de reconhecida adequação, que evita que os usuários cometam erros, de fácil aprendizado e operação, além de ser acessível por diferentes tipos de pessoas, todas essas características facilitam o uso do sistema pelo usuário.

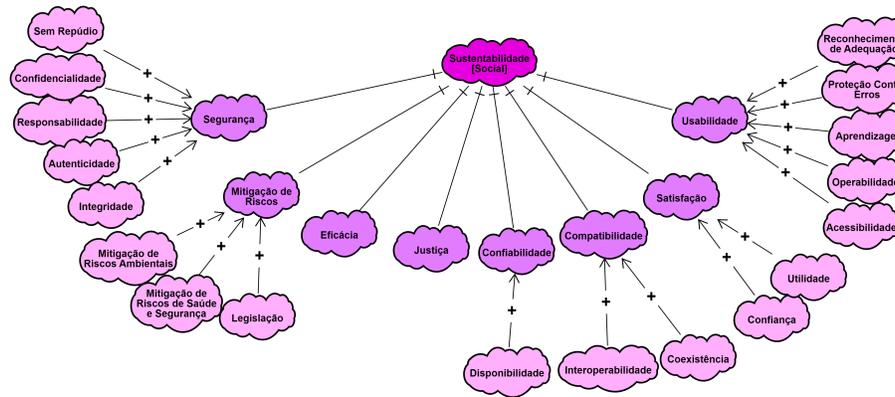


Fig. 3. Requisitos de Sustentabilidade: Dimensão Social

A dimensão técnica (vide Fig. 4) contém 13 atributos de qualidade principais: **Eficácia**, ao cumprir o papel ao que foi estabelecido e alcançar os objetivos pro-postos, assegura a utilização do sistema; **Satisfação** (no sentido de Utilidade e Confiança), um software útil e confiável garante a utilização por seus usuários por longos períodos; **Confiabilidade** (de Disponibilidade, Recuperabilidade, Tolerância a Falhas e Maturidade), para que o sistema opere de forma confiável ele tem que está disponível quando necessário, para isso é importante em caso de falhas os dados serem rapidamente recuperados e que seja possível continuar operando conforme pretendido mesmo com falhas e que tenha alto grau de maturidade; **Segurança** (no sentido de Integridade), pode ser gravemente prejudicial ao sistema caso ocorra acesso e modificação de programas ou dados do sistema de forma não autorizada; **Usabilidade** (no sentido de Proteção contra erros), um software que evita seus usuários de cometerem erros, pode influenciar um aumento na probabilidade dele ser utilizado por mais tempo; **Adequação funcional** (de Aprimoramento funcional, Completude funcional e Correção funcional), um sistema de software tem grande valor quando consegue facilitar a realização de tarefas, cumprir todas as tarefas propostas de forma completa, bem como retornar resultados corretos; **Cobertura de Contexto** (de Completude e Flexibilidade), um sistema capaz de atender todos os contextos ao qual ele foi especificado estará atingindo suas metas e assim garantindo seu uso, do mesmo modo precisa ter flexibilidade para operar em outros contextos além do que foi planejado inicialmente; **Compatibilidade** (de Coexistência e Interoperabilidade), o compartilhamento de informações e de ambiente por diferentes sistemas melhoram a sua vida útil, mitigando a necessidade de grandes mudanças nos sistemas de software; **Portabilidade** (de Substitutibilidade, Instalabilidade e Adaptabilidade), o tempo de vida de um sistema pode ser estendido dependendo da sua capacidade de substituir outros softwares já existentes e da facilidade de instalação e adaptação para diferentes tipos de softwares ou hardwares; **Desempenho** (de Capacidade, Comportamento temporal

e Utilização de recursos), a capacidade de um sistema, bem como quantidade de recursos que o sistema utiliza e o tempo necessário para realizar uma função são pontos importantes para adesão e continuidade da utilização do software; **Eficiência**, o gasto eficiente dos recursos é um fator de grande importância para a sustentabilidade; **Manutenibilidade** (nos termos de Reutilização, Modificabilidade, Modularidade, Testabilidade e Analisabilidade), a longevidade do software está intrinsecamente ligada a sua capacidade de manutenção, é necessário que ele permita mudanças ao decorrer de seu ciclo de vida para evitar obsolescência e desuso, para tal, é necessário que seja possível aplicar mecanismos para realização de testes e que seja fácil analisar impactos de-corridos de modificações. Também é importante permitir a reutilização de componentes do sistema, de forma modular, onde as partes do sistema estejam divididas em módulos e a modificação de um módulo tenha pouco impacto aos demais módulos; **Extensibilidade**, permite que o sistema cresça e evolua de acordo com as necessidades que surgirem de sua utilização, assim sendo um fator importante para o software ser útil por longos períodos.

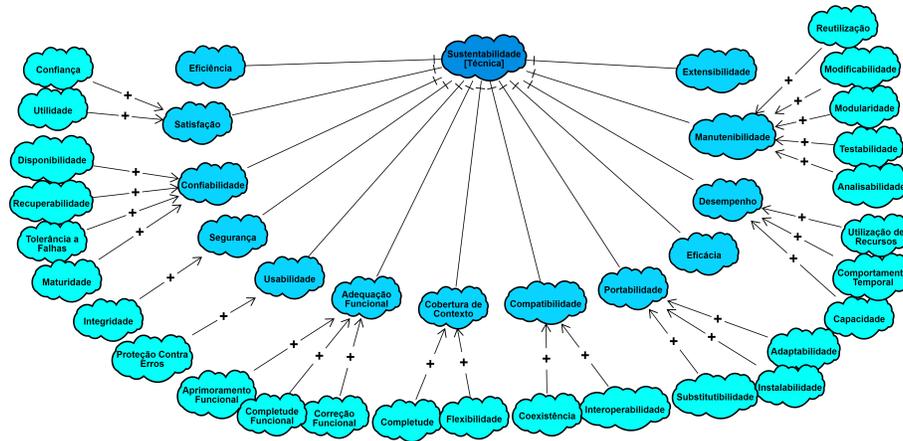


Fig. 4. Requisitos de Sustentabilidade: Dimensão Técnica

4 Ilustração de Utilização do Catálogo

Sabemos que o catálogo NFR4SUSTAIN poderá ajudar tanto os desenvolvedores de sistemas a incorporarem NFRs relacionados à sustentabilidade em seus projetos, como permite que os stakeholders avaliem/selecionem sistemas de acordo com requisitos de sustentabilidade.

A seguir ilustraremos a utilização do catálogo para a avaliação de um sistema já existente para aluguel de bicicletas. Tomamos como exemplo o sistema Bike Itaú, que oferece o serviço de aluguel de bicicletas em diversos estados brasileiros

e está disponível nos principais sistemas operacionais de dispositivos móveis, tornando seu acesso possível por toda a sociedade.

Caso os desenvolvedores do sistema Bike Itaú estivessem conscientes do Catálogo, eles poderiam ter considerado a incorporação dos NFRs de sustentabilidade ao sistema Bike Itaú durante o seu desenvolvimento. Nos baseamos no catálogo para avaliar os requisitos de sustentabilidade que já estão presentes no projeto atual, bem como para indicar quais outros possíveis atributos necessitariam de melhor avaliação.

Após a análise das informações disponíveis nos canais oficiais do sistema Bike Itaú, bem como a realização de diversos testes por meio da utilização do sistema, chegamos à conclusão de que os seguintes atributos já estão presentes no sistema: (1) Da dimensão econômica têm Confiabilidade (Disponibilidade), Cobertura de Contexto (Completeness) e Eficácia; (2) Já da dimensão social conta com Satisfação (Utilidade e Confiança), Segurança (Responsabilidade, Autenticidade, Confidencialidade e Integridade), Mitigação de Riscos (Mitigação de Riscos Ambientais e Legislação), Justiça, Eficácia e Usabilidade (Acessibilidade e Proteção Contra Erros); (3) Da dimensão técnica têm Confiabilidade (Disponibilidade), Adequação Funcional (Correção Funcional, Completeness Funcional), Eficácia e Portabilidade (Instalabilidade).

Contudo, vários outros atributos presentes no catálogo ainda precisam ser mais bem avaliados, tais como: (1) Na dimensão econômica, Manutenibilidade (Modificabilidade e Reutilização) e Eficiência; (2) Na dimensão social, Compatibilidade (Coexistência e Interoperabilidade); (3) Na dimensão técnica, Manutenibilidade (Modificabilidade, Modularidade e Reutilização), Desempenho (Utilização de Recursos, Capacidade e Comportamento Temporal), Confiabilidade (Recuperabilidade), Adequação Funcional (Aprimoramento Funcional), Extensibilidade e Eficiência. Para isso será necessário ter acesso aos dados de seu desenvolvimento.

5 Avaliação Preliminar do Catálogo por Engenheiros de Requisitos

Para realização da avaliação preliminar de qualidade e utilidade do catálogo de sustentabilidade, foi aplicado um questionário a 13 alunos da turma da graduação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco (CIn - UFPE) e 7 alunos da turma de pós-graduação na Escola Politécnica de Pernambuco - Universidade de Pernambuco (POLI - UPE), ambas as turmas estavam cursando a disciplina de engenharia de requisitos em seus respectivos cursos. Ao todo, 20 alunos responderam a avaliação do catálogo.

Antes da aplicação do questionário realizou-se uma dinâmica com ambas as turmas, em momentos distintos. Primeiramente foi apresentado os conceitos básicos que foram utilizados para construção do catálogo e em seguida apresentado o catálogo e os cartões de especificação¹. Após as apresentações foi disponibi-

¹ Veja, a título de ilustração, os cartões de especificação no link: https://drive.google.com/file/d/1yzCKh6lDxRv6ugG77g6WCAhFLBEhkYSD/view?usp=drive_link

lizado acesso ao material (catálogo, cartões de especificação e vídeo explicativo) necessário para analisarem o estudo e responderem o questionário.

O questionário foi dividido em 3 seções, a primeira seção mediu o nível de conhecimento dos avaliadores e o grau de familiaridade com os temas de elicitação e especificação de requisitos, NFR *Framework* e Sustentabilidade. A segunda seção verificou a utilidade e qualidade do catálogo, por último, na terceira seção foi solicitado comentários e sugestões de melhorias.

De acordo com o perfil dos participantes da pesquisa foi verificado que eles têm um nível satisfatório de conhecimento para compreensão e avaliação do catálogo, entretanto poucos participantes dispõem de proficiência sobre o tema de sustentabilidade e poucos têm mais de 2 anos de experiência em elicitação e especificação de requisitos.

Os resultados das perguntas abordando a qualidade do catálogo se mostraram positivas e satisfatórias para essa fase inicial ao qual se encontra, demonstrando que os requisitos foram validados de maneira positiva e agregam valor a sustentabilidade de sistemas de software (Vide Tabela 2).

Tabela 2. Utilidade e qualidade do catálogo

Perguntas	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo Parcialmente	Concordo totalmente
6 - O catálogo é de fácil entendimento.	-	-	10%	45%	45%
7 - O catálogo é um artefato útil nas etapas de elicitação e especificação no processo de Engenharia de Requisitos.	-	-	5%	20%	75%
8 - Os Requisitos Não-funcionais apresentados no catálogo são pertinentes a projetos que envolvam sustentabilidade.	-	-	5%	5%	90%
9 - As correlações apresentadas no catálogo são condizentes com a realidade de projetos que envolvem sustentabilidade.	-	-	15%	15%	70%
10 - Os requisitos do catálogo apresentam definições adequadas.	-	-	-	35%	65%
11 - Eu utilizaria o catálogo em projetos futuros de desenvolvimento.	-	-	5%	25%	70%
12 - Eu recomendaria a outras pessoas a utilização do catálogo em projetos.	-	-	-	30%	70%

6 Limitações e Ameaças a Validade

As limitações encontradas nessa pesquisa consideraram o método utilizado para obtenção dos estudos analisados, a criação e validação do catálogo. Em razão da pesquisa se encontrar em uma fase preliminar, ainda existem diversas melhorias e ajustes a serem realizados, com isso, encontramos as seguintes ameaças a validade do estudo:

(1) Validade de construção. Na criação do catálogo, é possível que algum estudo importante não tenha sido selecionado na fase de análise ou alguma informação importante não tenha sido levada em consideração. Necessitando um aprofundamento em outros trabalhos para maior embasamento;

(2) Validade Interna. O total de pessoas que responderam ao questionário pode ser insuficiente para ter uma ideia concreta da pesquisa. Outro fator relevante é o fato de os alunos ainda estarem no meio de suas respectivas formações;

(3) Validade externa. Em relação a avaliação do catálogo, os participantes foram compostos unicamente por estudantes e em grande maioria não tinham total domínio nos temas abordados. Embora a pesquisa tenha recebido uma avaliação positiva dos participantes, é possível que não represente a verdade em um contexto profissional, devido ao baixo número de respondentes com elevada experiência profissional na área. Posteriormente será necessário realizar uma avaliação com especialistas no domínio e a aplicação do catálogo em um contexto real.

7 Trabalhos Relacionados

De acordo com Bambazek, Groher e Seyfff [23] o desenvolvimento de catálogos de requisitos de sustentabilidade ainda é uma abordagem recente na área de engenharia de requisitos, revelando que existem muitas ideias para serem exploradas.

Diversos autores pontuam a necessidade de a sustentabilidade ser tratada como um requisito primário em todas as fases do desenvolvimento de software, assim como também da importância de a sustentabilidade ser especificada como um requisito não-funcional e incorporado aos outros atributos de qualidade do sistema no processo de ES [21, 5, 20, 14, 12]. Portanto, é importante a construção de um catálogo requisitos de sustentabilidade capaz de apoiar a implementação de requisitos de sustentabilidade aos projetos de software e os introduzir aos demais requisitos primários.

Moreira et. al [9] desenvolveram um catálogo de requisitos de sustentabilidade das dimensões social e técnica, a partir de um levantamento dos conceitos fundamentais das dimensões de sustentabilidade com base em um mapeamento sistemático da literatura, uma busca manual e a técnica de *snowballing*. Após o levantamento eles representaram os requisitos por meio de modelos de conceitos e a modelagem iStar [24]. O catálogo foi avaliado por especialistas e em seguida, com base no *feedback* da avaliação, foi melhorado e consolidado com a ISO/IEC 25010:2011 [25]. Por fim, o catálogo foi aplicado em um projeto real. A maior contribuição foi a adição dos requisitos de Justiça e Legislação ao catálogo, que não estão presentes na ISO/IEC 25010:2011.

Condori-Fernandez e Lago [16] tentaram identificar os requisitos que contribuem para as dimensões econômica, técnica, social e ambiental. A pesquisa permitiu gerar uma lista de cada dimensão com os requisitos que mais contribuem em forma decrescente e assim permitindo conceber uma certa priorização de requisitos.

Em comparação, nosso estudo investigou uma dimensão a mais que as expostas em [9], a dimensão econômica. Bem como, elaborou cartões de especificação para melhorar o entendimento dos atributos presentes no catálogo e foram descobertos atributos que pertencem a duas ou mais dimensões ao mesmo tempo.

Já no estudo de [16], eles só representaram os atributos em forma de tabela e não contam com nenhum cartão de especificação ou outro meio de exemplificar e explicar os requisitos encontrados.

8 Conclusão e Trabalhos Futuros

Essa pesquisa abordou a construção de um catálogo de requisitos de sustentabilidade das dimensões econômica, social e técnica. Por intermédio da técnica de *snowballing* diversas pesquisas foram analisadas, onde obtivemos os fundamentos de sustentabilidade essenciais para construção do catálogo. Após sua construção, foi realizado uma avaliação preliminar com uma turma da graduação e outra turma da pós-graduação, que estavam cursando a disciplina de engenharia de requisitos em seus respectivos cursos.

O catálogo se mostrou promissor ao abordar as dimensões de sustentabilidade propostas e teve um *feedback* positivo em sua avaliação inicial. Entretanto nossa pesquisa ainda está em uma fase preliminar e existem melhorias e pendências a serem sanadas. Em vista disso, como trabalhos futuros temos: (1) a necessidade de uma avaliação mais rigorosa aplicada a diferentes especialistas das áreas de engenharia de requisitos, sustentabilidade de TICs e sustentabilidade econômica; (2) aplicação do catálogo no desenvolvimento de um projeto real; (3) ampliação do catálogo e acréscimo das demais dimensões de sustentabilidade restantes (individual e ambiental).

Agradecimentos. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE).

References

1. Calero, C., & Piattini, M.: Puzzling Out Software Sustainability. *Sustainable Computing: Informatics And Systems*, 16, pp. 117-124 (2017)
2. Becker, C., Betz, S., Chitchyan, R., Duboc, L., Easterbrook, S., Penzenstadler, B. & Venters, C.: Requirements: The Key To Sustainability. *IEEE Software*, 33(1), pp. 56-65 (2015)
3. Becker, C., Chitchyan, R., Duboc, L., Easterbrook, S., Penzenstadler, B., Seyff, N., & Venters, C. C.: Sustainability Design And Software: The Karlskrona Manifesto. 2015 IEEE/Acm 37th IEEE International Conference On Software Engineering, 2, pp. 467-476 (2015)
4. Duboc, L., Betz, S., Penzenstadler, B., Kocak, S., Chitchyan, R., Leifler, O. & Venters, C.: Do We Really Know What We Are Building? Raising Awareness Of Potential Sustainability Effects Of Software Systems In Requirements Engineering. 2019 IEEE 27th International Requirements Engineering Conference (RE), pp. 6-16 (2019)
5. Raturi, A., Penzenstadler, B., Tomlinson, B., & Richardson, D.: Developing A Sustainability Non-Functional Requirements Framework. *Proceedings Of The 3rd International Workshop On Green And Sustainable Software*, pp. 1-8 (2014)

6. Camboim, K., & Alencar, F. M.: Requisitos Não Funcionais E Sustentabilidade Para Computação Em Nuvem: Uma Revisão Sistemática Da Literatura. WER (2018)
7. Penzenstadler, B.: Infusing Green: Requirements Engineering For Green In And Through Software Systems. Re4susy@ RE, pp. 44-53 (2014)
8. Penzenstadler, B.: From Requirements Engineering To Green Requirements Engineering. Green In Software Engineering, pp. 157-186 (2015)
9. Moreira, A., Araújo, J., Gralha, C., Goulão, M., Brito, I. S., & Albuquerque, D.: A Social And Technical Sustainability Requirements Catalogue. Data & Knowledge Engineering, 143, P. 102107 (2023)
10. Glass, R. L.: The Software-Research Crisis. IEEE Software, 11(6), pp. 42-47 (1994)
11. Felderer, M., & Travassos, G. H.: Contemporary Empirical Methods In Software Engineering. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer (2020)
12. Easterbrook, S. M.: Climate Change: A Grand Software Challenge. Proceedings Of The Fse/Sdp Workshop On Future Of Software Engineering Research, pp. 99-104 (2010)
13. Penzenstadler, B., & Femmer, H.: A Generic Model For Sustainability With Process-And Product-Specific Instances. Proceedings Of The 2013 Workshop On Green In/By Software Engineering, pp. 3-8 (2013)
14. Chitchyan, R., Becker, C., Betz, S., Duboc, L., Penzenstadler, B., Seyff, N., & Venters, C. C.: Sustainability Design In Requirements Engineering: State Of Practice. Proceedings Of The 38th International Conference On Software Engineering Companion, pp. 533-542 (2016)
15. Naumann, S., Dick, M., Kern, E., & Johann, T.: The Greensoft Model: A Reference Model For Green And Sustainable Software And Its Engineering. Sustainable Computing: Informatics And Systems, 1(4), pp. 294-304 (2011).
16. Condori-Fernandez, N., & Lago, P.: Characterizing The Contribution Of Quality Requirements To Software Sustainability. 137, 289-305 (2018).
17. Hilty, L. M., & Aebischer, B.: ICT For Sustainability: An Emerging Research Field. Ict Innovations For Sustainability, pp. 3-36 (2015)
18. Venters, C., Jay, C., Lau, L., Griffiths, M., Holmes, V., Ward, R. & Xu, J.: Software Sustainability: The Modern Tower Of Babel. Ceur Workshop Proceedings, 1216, pp. 7-12 (2014)
19. Oyediji, S., Seffah, A., & Penzenstadler, B.: A Catalogue Supporting Software Sustainability Design. Sustainability. 10(7), P. 2296 (2018)
20. Saputri, T. R., & Lee, S. W.: Incorporating Sustainability Design In Requirements Engineering Process: A Preliminary Study. Requirements Engineering Toward Sustainable World: Third Asia-Pacific Symposium, Apres 2016, pp. 53-67 (2016)
21. Penzenstadler, B., Raturi, A., Richardson, D., & Tomlinson, B.: Safety, Security, Now Sustainability: The Nonfunctional Requirement For The 21st Century. IEEE Software, 31, pp. 40-47 (2014)
22. Chung, L., Nixon, B. A., Yu, E., & Mylopoulos, J.: Non-Functional Requirements In Software Engineering. Springer Science & Business Media (2000).
23. Bambazek, P., Groher, I., & Seyff, N.: Requirements Engineering For Sustainable Software Systems: A Systematic Mapping Study. Requirements Engineering, pp. 1-25 (2023).
24. Dalpiaz, F., Franch, X., & Horkoff, J.: Istar 2.0 Language Guide. Fonte: Url <https://arxiv.org/abs/1605.07767v3> (2016)
25. ISO/IEC 25010. ISO/IEC 25010:2011(En), Systems And Software Engineering — Systems And Software Quality Requirements And Evaluation (Square) — System And Software Quality Models (2011)