



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ABIMAEEL JONAS FURTUOSO DOS SANTOS

NFR4SUSTAIN: Catálogo de Requisitos para Sustentabilidade de Software

Recife

2024

ABIMAEEL JONAS FURTUOSO DOS SANTOS

NFR4SUSTAIN: Catálogo de Requisitos para Sustentabilidade de Software

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciência da Computação.

Área de Concentração: Engenharia de Software e Linguagens de programação

Orientador (a): Prof. Jaelson Freire Brelaz de Castro

Recife

2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Santos, Abimael Jonas Furtuoso Dos.

NFR4SUSTAIN: Catálogo de Requisitos para Sustentabilidade de Software / Abimael Jonas Furtuoso Dos Santos. - Recife, 2024.
177f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Informática, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, 2024.

Orientação: Jaelson Freire Brelaz de Castro.

Inclui referências e apêndices.

1. Sustentabilidade; 2. Software; 3. Engenharia de requisitos; 4. Requisitos Não-Funcionais; 5. Catálogo. I. Castro, Jaelson Freire Brelaz de. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

Abimael Jonas Furtuoso dos Santos

“NFR4SUSTAIN: Catálogo de Requisitos para Sustentabilidade de Software”

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação. Área de Concentração: Engenharia de Software e Linguagens de Programação.

Aprovado em: 30/07/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Carla Taciana Lima Lourenço Silva Schuenemann
Centro de Informática / UFPE

Profa. Dra. Fernanda Maria Ribeiro de Alencar
Instituto Federal de Pernambuco – Campus Recife

Prof. Dr. Jaelson Freire Brelaz de Castro,
Centro de Informática / UFPE
(orientador)

Dedico este trabalho a meus queridos irmãos, Ramon, Cínthya e Benjamin. Que sempre me trouxeram muita felicidade e amor. Que este trabalho possa servir de inspiração para fomentar seus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço enormemente meu orientador, prof. Jaelson Castro, por todo apoio, compreensão e dedicação para me auxiliar a chegar até aqui. Seu conhecimento, paciência e orientação foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço por todas as oportunidades de aprendizado e crescimento que proporcionou durante essa jornada.

A todos os velhos e novos amigos que permaneceram ao meu lado nessa jornada, que ouviram minhas reclamações e problemas, que comemoraram minhas conquistas e vitórias, obrigado a todos. Em especial, gostaria de agradecer a meus amigos Luiza, Jorge e Bia que conheci nesse trajeto e espero continuar essa amizade para além dele. A minha grande amiga Rejane, que mesmo longe, sempre se manteve presente, me ouvindo e aconselhando. Obrigado por tudo até aqui, com você minha vida é muito mais feliz.

Agradeço a meus irmãos Ramon, Cínthya e Benjamin, meus motivos de felicidade e dedicação para sempre buscar o melhor e me desafiar a conquistar novas metas. Por fim, agradeço a mim mesmo por não ter desistido e enfrentado todos os desafios que me foram impostos.

RESUMO

Dado o papel crítico do software na sociedade, é essencial alinhar os sistemas desenvolvidos na academia e na indústria com as diretrizes de sustentabilidade e garantir a construção de software sustentável que aborde potenciais efeitos de longo prazo em vez de retornos imediatos. Esta pesquisa tem como objetivo propor um catálogo de requisitos de sustentabilidade, intitulado de NFR4SUSTAIN, que aborda as dimensões de sustentabilidade econômica, social e técnica. O catálogo ajudará os desenvolvedores de software a incorporarem requisitos não-funcionais relacionados à sustentabilidade em seus projetos, bem como possibilitará que *stakeholders* selecionem sistemas adequados com base em requisitos de sustentabilidade. Para elaboração do catálogo foi empregado um método de pesquisa que inclui as etapas de Levantamento de Informações, Desenvolvimento do Catálogo e a sua Avaliação/Validação. A validação do catálogo foi realizada através de uma ilustração do seu uso, ou Prova de Conceito, entrevista com especialistas das áreas relacionadas, bem como a coleta da opinião de alunos de engenharia de requisitos. Para ilustrar a utilização do catálogo NFR4SUSTAIN, foi realizada sua aplicação ao serviço Moeda Capiba, o qual faz parte do sistema Conecta Recife pertencente a prefeitura de Recife - PE. O serviço visa incentivar hábitos saudáveis e sustentáveis. De acordo com os especialistas e engenheiros de software, o catálogo teve uma recepção favorável e foi avaliado como útil e de fácil entendimento.

Palavras-chaves: Sustentabilidade. Software. Engenharia de Requisitos. Requisitos Não-Funcionais. Catálogo.

ABSTRACT

Given the software's critical role in society, it is essential to align systems developed in academia and industry with sustainability guidelines and ensure the construction of sustainable software that addresses potential long-term effects rather than immediate returns. This research aims to propose a catalog of sustainability requirements, entitled NFR4SUSTAIN, which addresses the dimensions of economic, social and technical sustainability. The catalog will help software developers incorporate sustainability-related non-functional requirements into their projects, as well as enable *stakeholders* to select suitable systems based on sustainability requirements. To prepare the catalog, a research method was used that includes the stages of Information Gathering, Catalog Development and its Evaluation/Validation. The validation of the catalog was carried out through an illustration of its use, or Proof of Concept, interviews with experts from related areas, as well as collecting the opinion of requirements engineering students. To illustrate the use of the NFR4SUSTAIN catalogue, it was applied to the Moeda Capiba service, which is part of the Conecta Recife system belonging to the city council of Recife - PE. The service aims to encourage healthy and sustainable habits. According to experts and software engineers, the catalog was favorably received and was assessed as useful and easy to understand.

Keywords: Sustainability. Software. Requirements Engineering. Non-Functional Requirements. Catalog.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas para Construção da Pesquisa	22
Figura 2 – Definição e Terminologia dos Requisitos Não-Funcionais	25
Figura 3 – Classificação de Requisitos Não-Funcionais	27
Figura 4 – Classificação dos Requisitos de Forma Facetada	28
Figura 5 – Softgoal NFR	30
Figura 6 – Refinamentos de Softgoals	31
Figura 7 – Operacionalização de Softgoals	31
Figura 8 – Argumentação de Softgoals	32
Figura 9 – Priorização	32
Figura 10 – Softgoal de Operacionalização	33
Figura 11 – Softgoal de Afirmação	33
Figura 12 – Contribuições AND e OR	34
Figura 13 – Contribuições	35
Figura 14 – Rótulos	35
Figura 15 – Exemplo de União de Rótulos	36
Figura 16 – Procedimento do Estudo	42
Figura 17 – Diagrama de Venn dos Requisitos das Dimensões de Sustentabilidade	47
Figura 18 – Requisitos de Sustentabilidade: Dimensão Econômica	49
Figura 19 – Requisitos de Sustentabilidade: Dimensão Social	51
Figura 20 – Requisitos de Sustentabilidade: Dimensão Técnica	54
Figura 21 – Moeda Capiba - Dimensão Econômica	107
Figura 22 – Ilustração - Dimensão Econômica - Confiabilidade	108
Figura 23 – Ilustração - Dimensão Econômica - Manutenibilidade	109
Figura 24 – Ilustração - Dimensão Econômica - Usabilidade	110
Figura 25 – Moeda Capiba - Dimensão Social	112
Figura 26 – Ilustração - Dimensão Social - Segurança	113
Figura 27 – Ilustração - Dimensão Social - Mitigação de Riscos	115
Figura 28 – Ilustração - Dimensão Social - Compatibilidade	116
Figura 29 – Ilustração - Dimensão Social - Usabilidade	117
Figura 30 – Ilustração - Dimensão Social - Confiabilidade	119

Figura 31 – Moeda Capiba - Dimensão Técnica	121
Figura 32 – Ilustração - Dimensão Técnica - Compatibilidade	122
Figura 33 – Ilustração - Dimensão Técnica - Portabilidade	123
Figura 34 – Ilustração - Dimensão Técnica - Confiabilidade	124
Figura 35 – Ilustração - Dimensão Técnica - Manutenibilidade	125
Figura 36 – Avaliação com Alunos - Questão 1	130
Figura 37 – Avaliação com Alunos - Questão 2	131
Figura 38 – Avaliação com Alunos - Questão 3	132
Figura 39 – Avaliação com Alunos - Questão 4	132
Figura 40 – Avaliação com Alunos - Questão 5	133
Figura 41 – Avaliação com Alunos - Questão 6	134
Figura 42 – Avaliação com Alunos - Questão 7	134
Figura 43 – Avaliação com Alunos - Questão 8	135
Figura 44 – Avaliação com Alunos - Questão 9	136
Figura 45 – Avaliação com Alunos - Questão 10	136
Figura 46 – Avaliação com Alunos - Questão 11	137
Figura 47 – Avaliação com Alunos - Questão 12	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Procedimentos Metodológicos	20
Tabela 2 – Estudos Analisados	43
Tabela 3 – Requisitos para Sustentabilidade	46
Tabela 4 – Interdependências - Dimensão Econômica	50
Tabela 5 – Interdependências - Dimensão Social	53
Tabela 6 – Interdependências - Dimensão Técnica	56
Tabela 7 – Realização da Entrevista com Especialistas	127
Tabela 8 – Conhecimento dos participantes	141
Tabela 9 – Utilidade e qualidade do catálogo	142
Tabela 10 – Comparação dos Trabalhos Relacionados	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ER	Engenharia de Requisitos
ES	Engenharia de Software
FR	Functional Requirement
NFR	Non-Functional Requirement
NFR Framework	Non-Functional Requirements Framework
NFR4SUSTAIN	Non-Functional Requirements For Sustainability
PoC	Prova de Conceito
RF	Requisitos Funcionais
RNF	Requisitos Não-Funcionais
SIG	Softgoal Interdependency Graph

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTO E MOTIVAÇÃO	15
1.2	PROBLEMA	16
1.3	OBJETIVO GERAL	18
1.3.1	Objetivos Específicos	18
1.4	QUESTÕES DE PESQUISA	19
1.5	METODOLOGIA	20
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1	REQUISITOS NÃO-FUNCIONAIS	24
2.1.1	Definição	24
2.1.2	Características	25
2.1.3	Classificação	26
2.2	NFR FRAMEWORK	28
2.2.1	Definição	29
2.2.2	Gráfico de Interdependência de Softgoal	29
2.2.3	Softgoal NFR	29
2.2.4	Refinamentos	30
2.2.5	Operacionalizações	32
2.2.6	Afirmações	33
2.2.7	Contribuição	33
2.2.8	Procedimento de Avaliação	35
2.3	SUSTENTABILIDADE	36
2.3.1	Definição	36
2.3.2	Ordens de Efeito	39
2.4	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	40
3	NFR4SUSTAIN - CATÁLOGO DE REQUISITOS NÃO-FUNCIONAIS PARA SUSTENTABILIDADE	41
3.1	CONSTRUÇÃO DO CATÁLOGO	41
3.2	CATÁLOGO	44

3.2.1	Dimensão Econômica	48
3.2.1.1	<i>Interdependências - Dimensão Econômica</i>	50
3.2.2	Dimensão Social	51
3.2.2.1	<i>Interdependências - Dimensão Social</i>	53
3.2.3	Dimensão Técnica	54
3.2.3.1	<i>Interdependências - Dimensão Técnica</i>	56
3.3	CARTÕES DE ESPECIFICAÇÃO	58
3.3.1	Adequação Funcional	58
3.3.2	Cobertura de Contexto	61
3.3.3	Compatibilidade	64
3.3.4	Confiabilidade	66
3.3.5	Desempenho	70
3.3.6	Eficácia	73
3.3.7	Eficiência	74
3.3.8	Extensibilidade	75
3.3.9	Justiça	76
3.3.10	Manutenibilidade	77
3.3.11	Mitigação de riscos	82
3.3.12	Portabilidade	86
3.3.13	Robustez	90
3.3.14	Satisfação	90
3.3.15	Segurança (Security)	93
3.3.16	Usabilidade	97
3.4	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	101
3.4.1	Discussão Sobre as Dimensões de Sustentabilidade	101
3.4.2	Diferenças Entre Catálogos	102
4	AValiação DO CATÁLOGO NFR4SUSTAIN	104
4.1	PROVA DE CONCEITO	104
4.1.1	Prova de Conceito - Dimensão Econômica	106
4.1.2	Prova de Conceito - Dimensão Social	111
4.1.3	Prova de Conceito - Dimensão Técnica	120
4.2	ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS	126

4.3	AVALIAÇÃO COM ALUNOS DO CURSO DE ENGENHARIA DE REQUISITOS	129
4.3.1	Perfil dos Participantes	130
4.3.2	Avaliação do Catálogo NFR4SUSTAIN	133
4.3.3	Opiniões e Sugestões de Melhoria	138
4.3.4	Discussão Sobre os Resultados	141
4.3.5	Limitações e Ameaças a Validade	142
4.4	CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	143
5	CONCLUSÃO	144
5.1	TRABALHOS RELACIONADOS	144
5.2	RESULTADOS	145
5.3	CONTRIBUIÇÕES	146
5.4	TRABALHOS FUTUROS	147
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	148
	REFERÊNCIAS	150
	APÊNDICE A – RASTREAMENTO DE REQUISITOS	155
	APÊNDICE B – RASTREAMENTO DE INTERDEPENDÊNCIAS .	158
	APÊNDICE C – TRANSPARÊNCIAS DA APRESENTAÇÃO - ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS	159
	APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO NFR4SUSTAIN164	
	APÊNDICE E – APRESENTAÇÃO UTILIZADA NAS DINÂMICAS DE AVALIAÇÃO	170

1 INTRODUÇÃO

Nesse capítulo é apresentada uma visão geral desta dissertação, contendo o contexto e motivação que corroboraram para decisão de iniciar essa pesquisa, a justificativa para dar andamento ao estudo, seu objetivo geral e objetivos específicos que se deseja alcançar, as questões de pesquisa que se deseja responder, e por fim, a metodologia de pesquisa que será empregada.

1.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

Devido às inúmeras crises climáticas que nos assolam recentemente, se tornou imprescindível tomar medidas cabíveis para minimizar os efeitos de tais problemas. Como exemplos temos: ondas de calor, mudanças bruscas na temperatura do planeta e nos recordes tanto de temperaturas muito altas quanto de temperaturas muito baixas em diversos pontos do planeta. É necessário procurar soluções viáveis para solucionar os causadores dessas adversidades e garantir a sustentabilidade para nós e as gerações futuras, sem comprometer a prosperidade de ambas.

As diversas mudanças climáticas e o aumento do consumo de energia nos últimos anos evidenciam ainda mais a necessidade emergente da adaptação e desenvolvimento de sistemas de software alinhados aos problemas de sustentabilidade, os quais afetam diretamente a sociedade. Os sistemas de software fazem tanto parte do problema quanto da solução. É inegável o aumento do consumo de energia em razão dos avanços tecnológicos nas últimas décadas e da utilização de tecnologias de computação e comunicação (EASTERBROOK, 2010). O software também tem a capacidade de promover o desenvolvimento sustentável, auxiliando, entre outras, as pesquisas científicas das mudanças climáticas.

É importante destacar que além de considerar a promoção da sustentabilidade por meio de sistemas de software, também devemos levar em conta a sustentabilidade do próprio software, bem como os impactos que ele pode causar na sociedade e no ambiente em que está inserido. Muitos sistemas não são pensados em seu funcionamento a longo prazo, acarretando softwares obsoletos, descartáveis, com difícil manutenção e dificuldade de tratar possíveis efeitos negativos que podem gerar. Essa ausência de pensamento a longo prazo na disciplina de Engenharia de Software (ES) tem sido alvo de críticas ao longo de sua história (BECKER et al., 2015b).

É evidente a necessidade emergente de aderirmos na disciplina de Engenharia de Software métodos e ferramentas capazes de satisfazer as demandas ambientais e de sustentabilidade para auxiliar o desenvolvimento de softwares sustentáveis pensados a longo prazo. Levando em consideração essa perspectiva, 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.

Por sustentabilidade é entendido como o ato de “perdurar” ou de “algo durar por muito tempo” (OED, 2023). Porém, essa definição não aborda a sustentabilidade por completo (VENTERS et al., 2023). Para ocorrer 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 (BECKER et al., 2015b):

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 (CAMBOIM; ALENCAR, 2018). 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 (PENZENSTADLER, 2014; PENZENSTADLER, 2015). Porém, atingir este equilíbrio não é uma tarefa trivial, devido às relações intradimensionais e interdimensionais (MOREIRA et al., 2023).

1.2 PROBLEMA

A sustentabilidade é um tema que merece ser estudada na área de Engenharia de Requisitos (ER). A partir da década de 2010 começou-se a explorar como a ER pode contribuir para

sustentabilidade (RATURI et al., 2014). Embora, as primeiras pesquisas foram publicadas a partir de 2011, somente no período entre 2018 e 2020 que realmente houve um real crescimento das publicações na área (BAMBAZEK; GROHER; SEYFF, 2023). Portanto, é percebido um aumento significativo no interesse dos pesquisadores de ER sobre o tema de sustentabilidade, que é progressivamente mais reconhecida como relevante na ES (PENZENSTADLER; FEMMER, 2013).

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 requisitos de qualidade do sistema no processo de ES (PENZENSTADLER et al., 2014; RATURI et al., 2014; SAPUTRI; LEE, 2016; CHITCHYAN et al., 2016; EASTERBROOK, 2010).

A ER é um ponto-chave para promoção da sustentabilidade para sistemas de software (BECKER et al., 2015a), pois torna possível por meio do pensamento sistêmico identificar os objetivos e preocupações de sustentabilidade e interpretá-los no domínio de requisitos de software (BECKER et al., 2015b). O pensamento sistêmico permite visualizar qualquer sistema como um componente de um sistema maior (EASTERBROOK, 2014). Com isso, torna-se viável a análise do sistema de software como parte das demais dimensões (sociais, econômicas e ambientais) presentes no domínio e seu impacto sobre elas.

As preocupações de sustentabilidade devem ser abordadas desde as fases de elicitação e especificação de requisitos (DUBOC et al., 2019) e as questões ambientais devem ser consideradas desde as primeiras etapas da construção do software e em todos seus ciclos de vida do processo de software (CALERO; PIATTINI, 2017).

Para que a sustentabilidade possa ser tratada com a devida importância e ser integrada aos demais atributos de qualidade de um sistema, ela deve ser tratada como um requisito primário e ser especificado como um requisito não-funcional dos sistemas de software (PENZENSTADLER et al., 2014). Deste modo, ela será incluída em todo o ciclo de vida do processo de desenvolvimento de software, desde suas fases iniciais. Permitindo assim a criação de sistemas de softwares sustentáveis, pois ao considerar a sustentabilidade com um requisito de qualidade começamos a pensar não como sustentar o software existente e sim como desenvolver um software sustentável (SAPUTRI; LEE, 2016).

Para promover a sustentabilidade por meio da ER, uma possibilidade é a criação de um catálogo padrão de propriedades que contribuam para a sustentabilidade, em que qualquer desenvolvedor de software ou empresa consiga se orientar ao desenvolver seus sistemas, e com isso verificar a adequação de seus sistemas aos critérios de sustentabilidade.

A organização dos requisitos em um catálogo é útil para reutilização, adaptação e compartilhamento, possibilitando a aplicação dentro de contextos semelhantes ou não (CHUNG et al., 2000), diminuindo o esforço necessário para pesquisas posteriores. Como pode ser visto em Bambazek, Groher e Seyff (2023) o desenvolvimento de catálogos e bibliotecas de sustentabilidade é uma abordagem recente, comportando poucas contribuições presentes na literatura e existindo diversas possibilidades que ainda não foram exploradas.

Especificamente, o problema trabalhado nesta dissertação é a dificuldade para identificar, inter-relacionar e documentar requisitos não-funcionais para sustentabilidade de software. O conhecimento sobre requisitos não-funcionais pode ser organizado em forma de catálogo, facilitando o gerenciamento, compartilhamento e melhoramento de informações (CYSNEIROS; YU; LEITE, 2003).

O presente trabalho tem como propósito definir um catálogo de requisitos para sustentabilidade, chamado Non-Functional Requirements For Sustainability (NFR4SUSTAIN), englobando as dimensões econômica, social e técnica. Este catálogo ajudará os desenvolvedores de sistemas a incorporarem requisitos relacionados à sustentabilidade econômica, social e técnica em seus projetos, bem como possibilitará que stakeholders selecionem sistemas adequados com base em requisitos para sustentabilidade.

1.3 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem como objetivo geral desenvolver um catálogo de requisitos para a sustentabilidade, englobando de forma abrangente as dimensões econômica, social e técnica, buscando cobrir integralmente essas dimensões de acordo com os dados disponíveis na literatura. Procura-se desenvolver um catálogo que seja reutilizável capaz de lidar com diferentes domínios de aplicação.

1.3.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral estabelecido nesse estudo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Averiguar na literatura quais requisitos para sustentabilidade são empregados nas dimensões econômica, social e técnica;

- Verificar as interdependências entre os requisitos não-funcionais das dimensões econômica, social e técnica;
- Desenvolver um catálogo de requisitos não-funcionais para sustentabilidade intitulado de NFR4SUSTAIN;
- Elaborar cartões de especificações de cada requisito do catálogo, descrevendo detalhadamente suas características;
- Ilustrar o uso do catálogo NFR4SUSTAIN;
- Avaliar o catálogo por meio de entrevistas com especialista do domínio e engenheiros de requisitos.

1.4 QUESTÕES DE PESQUISA

Para alcançar os objetivos da pesquisa foram definidas as seguintes questões de pesquisa e suas respectivas subquestões:

- **Como desenvolver um catálogo de requisitos para sustentabilidade das dimensões econômica, social e técnica?**

Esta pergunta visa construir um conjunto de atividades ou tarefas a serem seguidas para construção do catálogo para sustentabilidade.

- **Quais requisitos para sustentabilidade das dimensões econômica, social e técnica devem ser considerados?**

Esta pergunta tem como objetivo a obtenção de um conjunto de requisitos não-funcionais, os quais poderão ser reutilizados em projetos de sistemas de software sustentáveis.

- **Quais são as interdependências entre os requisitos para sustentabilidade das dimensões econômica, social e técnica?**

Esta pergunta visa obter as relações entre os requisitos para sustentabilidade. A finalidade é compreender como um requisito não-funcional pode afetar um outro de forma positiva ou negativa, total ou parcial, desde as fases iniciais do projeto.

- **Qual a percepção de usuários quanto ao catálogo proposto?**

Essa pergunta visa obter a opinião de usuários em relação à utilização, utilidade e qualidade do catálogo proposto. Como também verificar possíveis pontos de melhoria.

1.5 METODOLOGIA

A metodologia é o conjunto de métodos seguidos até que se possa chegar a um conhecimento (ANDRADE, 2010). Já o método é conjunto de atividades sistemáticas utilizadas para produzir conhecimento verdadeiro. Por meio do método é delineado o caminho a ser seguido, bem como é auxiliado a detecção de erros e a tomada de decisões (LAKATOS; MARCONI, 2017).

Em Prodanov e Freitas (2013) é feita a diferenciação entre método e método científico. No qual, método é um caminho para se chegar a um fim e o método científico é um conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos executados para alcançar o conhecimento. O método científico também é definido como conjunto de processos ou operações que devem ser empregados na investigação e a linha de raciocínio aplicada no processo de pesquisa.

Para realização dessa pesquisa, a metodologia baseia-se na classificação de acordo com a natureza da pesquisa, os objetivos, os procedimentos técnicos e a abordagem empregada.

Tabela 1 – Procedimentos Metodológicos

Natureza da Pesquisa	Aplicada
Objetivos de Pesquisa	Exploratória
Procedimentos Técnicos	Bibliográfica e Levantamento
Abordagem da Pesquisa	Misto

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

A seguir são descritos os procedimentos metodológicos adotados para realização dessa pesquisa, apresentados na Tabela 1.

- **Natureza da Pesquisa**

Uma pesquisa científica pode ter natureza básica ou aplicada. A pesquisa de natureza básica tem como foco gerar novos conhecimentos sem a proposta de uma aplicação prática, enquanto uma pesquisa aplicada gera novos conhecimentos para uma aplicação prática (PRODANOV; FREITAS, 2013). Essa pesquisa é considerada de natureza aplicada, pois propõe uma abordagem para ser aplicada em um contexto real.

▪ **Objetivos de Pesquisa**

Em relação aos objetivos da pesquisa, a pesquisa científica pode ser classificada como exploratória, descritiva e explicativa. Uma pesquisa considerada exploratória busca novas informações sobre o assunto investigado, geralmente envolve levantamento bibliográfico, entrevistas e análise de exemplos (PRODANOV; FREITAS, 2013). A pesquisa descritiva tem como objetivo o registro e estudo de características de uma população ou fenômeno, assim como as relações entre variáveis (GIL, 2017). Por fim, a pesquisa explicativa visa explicar o porquê e a causa da ocorrência de um fenômeno (PRODANOV; FREITAS, 2013). Essa pesquisa é considerada exploratória, devido ao fato de realizar uma investigação sobre os requisitos para sustentabilidade.

▪ **Procedimentos Técnicos**

A pesquisa científica pode ser classificada de acordo como são obtidos os dados utilizados no desenvolvimento da pesquisa. Os procedimentos adotados para a coleta de dados podem ser divididos em dois grupos, os que extraem dados de materiais publicados (pesquisa bibliográfica e pesquisa documental) e os que extraem dados de seu objeto de estudo (pesquisa experimental, pesquisa ex-postfacto, o levantamento, o estudo de caso, a pesquisa-ação e a pesquisa participante) (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Essa pesquisa é classificada como uma pesquisa bibliográfica, pois foi construída com base em materiais já publicados (GIL, 2017). Assim como é classificada como levantamento, visto que envolve a solicitação de informações a um grupo de pessoas sobre o tema estudado (PRODANOV; FREITAS, 2013). Que são: a realização de entrevistas com especialistas para avaliar o estudo e o levantamento de opiniões com alunos de engenharia de requisitos.

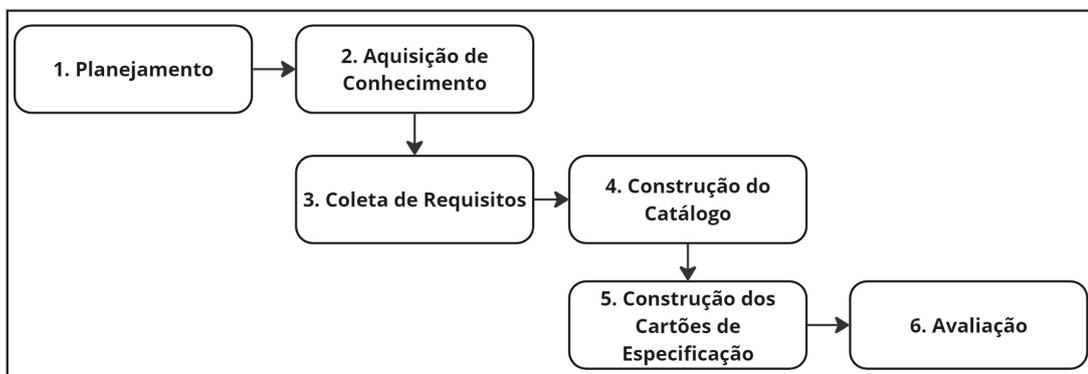
▪ **Abordagem da Pesquisa**

As pesquisas científicas podem ser classificadas de acordo a abordagem adotada para a realização da pesquisa, sendo elas qualitativas, quantitativas ou mistas. Definindo como os seus dados serão analisados e como serão apresentados os seus resultados. Uma pesquisa qualitativa apresenta seus dados de forma de descrições verbais, enquanto a pesquisa quantitativa apresenta seus dados de forma numérica (GIL, 2017). Também é possível classificar uma pesquisa como mista, a qual faz uso de elementos qualitativos e quantitativos.

Essa pesquisa fez uso de uma abordagem mista. A análise qualitativa ocorreu por meio de entrevistas com especialistas, nas quais foram obtidas suas opiniões e sugestões para melhorar o catálogo. Enquanto a análise quantitativa ocorreu por meio de questionário, aplicado aos alunos do curso de engenharia de requisitos, o qual retornou quantidades e percentuais sobre aspectos relevantes do catálogo proposto.

Para alcançar os objetivos propostos, esta pesquisa foi estruturada em 5 etapas, ilustradas na Figura 1. Essas etapas são descritas a seguir.

Figura 1 – Etapas para Construção da Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

1º Etapa - Planejamento: Nessa etapa foram definidas as atividades iniciais da pesquisa, tais como: definição do problema de pesquisa, determinação dos objetivos do trabalho e a seleção dos procedimentos metodológicos que foram adotados para execução dessa pesquisa.

2º Etapa - Aquisição de Conhecimento: Nessa etapa foram realizados estudos sobre as áreas necessárias para construção dessa pesquisa, que são: Requisitos Não-Funcionais, NFR Framework e Engenharia de Requisitos para Sustentabilidade de Software.

3º Etapa - Coleta de Requisitos: Essa etapa consistiu na obtenção dos requisitos não-funcionais que possuem relação com as dimensões de sustentabilidade econômica, social e técnica. Os requisitos foram encontrados a partir de um levantamento bibliográfico por meio da técnica de *snowballing* aplicada no estudo de (MOREIRA et al., 2023).

4º Etapa - Construção do Catálogo: Nessa etapa, conforme os requisitos encontrados na etapa de coleta de requisitos, foi construído um catálogo para sustentabilidade intitulado NFR4SUSTAIN. Para construção do catálogo foi empregado o NFR Framework (CHUNG et al., 2000) e desenvolvido três grafos de requisitos (SIG - Softgoal Interdependency Graph), um para cada dimensão de sustentabilidade estudada.

5º Etapa - Construção dos Cartões de Especificação: Nessa etapa foram construídos cartões de especificação de todos os requisitos presentes no catálogo, contendo suas características principais.

6º Etapa - Avaliação: Nessa etapa realizou-se a avaliação da abordagem proposta. Dessa forma, o catálogo foi aplicado através de uma Prova de Conceito (PoC) em um contexto real, em que foi possível ilustrar possíveis operacionalizações para o catálogo. Foram efetuadas entrevistas com especialista em sustentabilidade e engenharia de requisitos. Por fim, também foram coletados, por meio de questionário, as opiniões de alunos do curso de engenharia de requisitos, ao nível de graduação e pós-graduação.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma:

O Capítulo 1 - Introdução: abordar o contexto geral da pesquisa, sua motivação e justificativa para que seja realizada, assim como também o objetivo geral, os objetivos específicos, as questões de pesquisa, e por fim, a metodologia empregada.

O Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: apresenta os principais conceitos e temas abordados nesse estudo, que são: requisitos não-funcionais, Non-Functional Requirements Framework (NFR Framework) e sustentabilidade.

O Capítulo 3 – NFR4SUSTAIN: É apresentado o catálogo de requisitos propostos, juntamente com todas as informações relevantes para seu entendimento. Além disso, também são exibidos seus cartões de especificação, com detalhes sobre cada requisito presente no catálogo.

O Capítulo 4 – Avaliação do Catálogo NFR4SUSTAIN: Mostra a validação do catálogo proposto realizada através de uma Prova de Conceito, entrevistas com especialistas das áreas relacionadas e da coleta, por meio da aplicação de um questionário, da opinião de alunos de engenharia de requisitos.

O Capítulo 5 – Conclusão: por último, concluímos o estudo apontando os trabalhos relacionados encontrados, a contribuição que esse trabalho oferece, seus resultados finais e os potenciais trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo apresentam-se os conceitos fundamentais para entendimento desse trabalho. Na seção 2.1 é aprofundado o conteúdo de requisitos não-funcionais. Na seção 2.2 é detalhado o framework NFR utilizado nessa pesquisa para modelar requisitos não-funcionais. Por fim, na seção 2.3 abordamos as definições essenciais sobre sustentabilidade.

2.1 REQUISITOS NÃO-FUNCIONAIS

Os Requisitos Não-Funcionais (RNF) (do inglês, Non-Functional Requirement (NFR)) são imprescindíveis para o êxito de um sistema. Para isso é vital o atendimento dos RNFs, caso não seja possível alcançá-los resultará em inconsistências, falta de qualidade, insatisfação e desperdício de tempo e recursos (CHUNG et al., 2000).

2.1.1 Definição

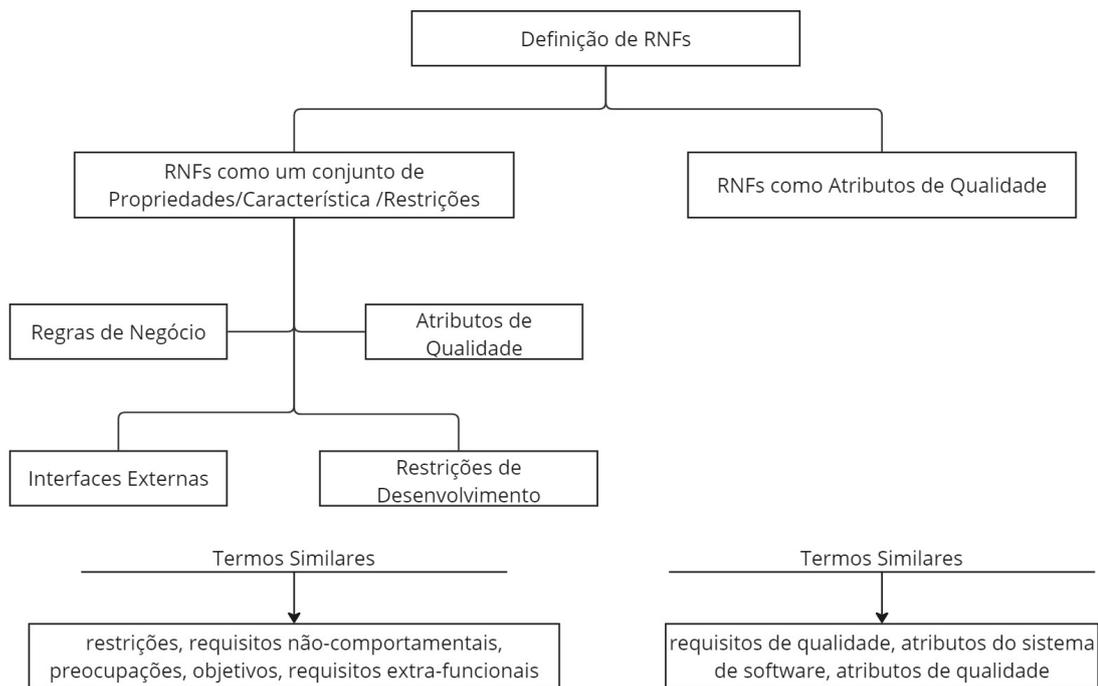
Na literatura são encontradas diversas definições de Requisitos Não-Funcionais, de acordo com a concepção e conhecimento de cada autor. Portanto, não existe uma definição formal do termo (CHUNG et al., 2000), nem um consenso na comunidade de Engenharia de Requisitos do que realmente são Requisitos Não-Funcionais (GLINZ, 2007). Porém, alguns autores têm compreensões parecidas sobre o que são RNFs, uma vez que mesmo sem um consenso, geralmente a sua definição é associada aos termos de qualidade e/ou restrições.

De acordo com Sommerville (2018) os RNFs são definidos como especificações e restrições das características do sistema como um todo, assim como correlaciona os RNFs as propriedades emergentes do sistema, como confiabilidade e tempo de resposta. Chung et al. (2000) elucida os RNFs como requisitos que descrevem como o software fará algo e não o que ele fará, além de também abordarem as questões importantes de qualidade do sistema. Para Cleland-Huang et al. (2007) os RNFs descrevem as restrições impostas ao sistema em seu desenvolvimento e comportamento, além de especificar suas qualidades. Nesse estudo, Requisitos Não-Funcionais são entendidos como os atributos de qualidade de um sistema e as restrições aplicadas a eles.

No trabalho de Mairiza, Zowghi e Nurmuliani (2010) foi relatado que os RNFs são julgados de duas perspectivas diferentes (vide Figura 2): (1) Na primeira perspectiva os RNFs

descrevem propriedades, características ou restrições do sistema, ligados a aspectos de regras de negócio, atributos de qualidade, preocupações, interfaces externas, restrições de desenvolvimento, objetivos, entre outros; (2) Enquanto a segunda perspectiva pode ser vista como um subconjunto da primeira, pois nela somente são considerados os atributos de qualidade, fazendo uso de termos como requisitos de qualidade, atributos de sistema de software e atributos de qualidade.

Figura 2 – Definição e Terminologia dos Requisitos Não-Funcionais



Fonte: Baseado em (MAIRIZA; ZOWGHI; NURMULIANI, 2010)

2.1.2 Características

Em comparação com os Requisitos Funcionais (RF) (do inglês, Functional Requirement (FR)), os RNFs são fatores constantemente mais críticos para utilização do sistema e sua não implementação pode inutilizar todo o sistema de software (SOMMERVILLE, 2018). É evidente a importância dos RNFs ao desenvolver sistemas de software, entretanto existem diversos problemas em seu entendimento, como problemas de definição, problemas de classificação e problemas de representação (GLINZ, 2007).

Conforme Chung et al. (2000), os RNFs têm as principais características de poderem ser subjetivos, relativos e interagirem entre si: são subjetivos porque podem ser compreendidos e avaliados de forma diferente por pessoas diferentes; podem ser relativos, pois existe uma

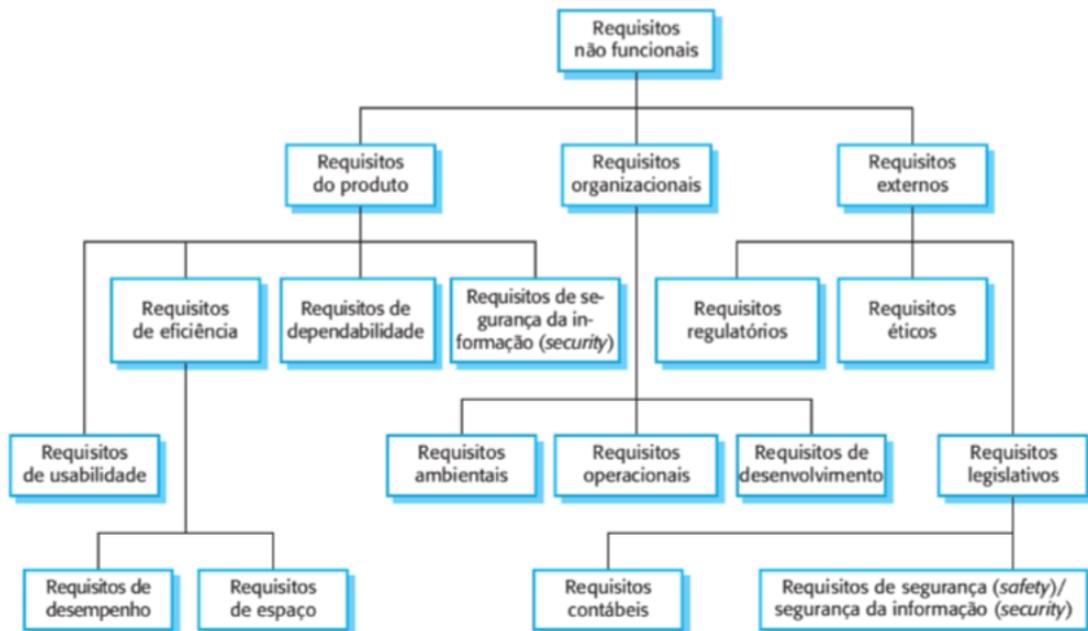
variação de importância e compreensão de acordo com o sistema; por fim, os RNFs interagem entre si, assim como também com os RFs, em que cada RNF pode influenciar positivamente ou negativamente outros requisitos.

2.1.3 Classificação

Assim como não há uma definição formal de RNFs, também não existe uma única classificação geral que aborde todos os diferentes domínios e aplicações, bem como não há uma lista completa de todos os requisitos não-funcionais (CHUNG et al., 2000). Existem diversas classificações na literatura (BOEHM; BROWN; LIPOW, 1976; IEEE, 1990; DAVIS, 1993; SOMMERVILLE; SAWYER, 1997; IEEE, 1998; KOTONYA; SOMMERVILLE, 1998; GLINZ, 2005; ISO/IEC 25010, 2011; SOMMERVILLE, 2018).

Sommerville (2018) classifica os RNFs como requisitos de produto, requisitos organizacionais e requisitos externos, cada um deles contém subclassificações mais específicas como pode ser visualizado na Figura 3. Os requisitos de produto lidam com as restrições e comportamentos em tempo de execução (desempenho, confiabilidade, segurança, usabilidade, etc.). Os requisitos organizacionais surgem das políticas e procedimentos das organizações nos quais o cliente e o desenvolvedor estão inseridos (linguagem de programação, ambiente de desenvolvimento, padrões de processo, etc.). Os requisitos externos são todos os requisitos que derivam de fontes externas (leis, regulamentos, ética, etc.).

Figura 3 – Classificação de Requisitos Não-Funcionais



Fonte: (SOMMERVILLE, 2018)

Em contrapartida, as definições e classificações tradicionais de requisitos como requisitos funcionais e não-funcionais, Glinz (2005) classifica os requisitos de forma facetada de acordo com quatro aspectos de classificação, que são: o tipo do requisito, sua forma de representação, o papel que ele exerce e o grau de satisfação necessário (vide Figura 4).

Os tipos de requisitos estão ligados ao assunto que o requisito trata, como: a função que o sistema deve executar; um dado que deve fazer parte do sistema; um atributo relativo ao tempo, velocidade, volume ou taxa; qualidades das propriedades do sistema; e as restrições impostas ao sistema.

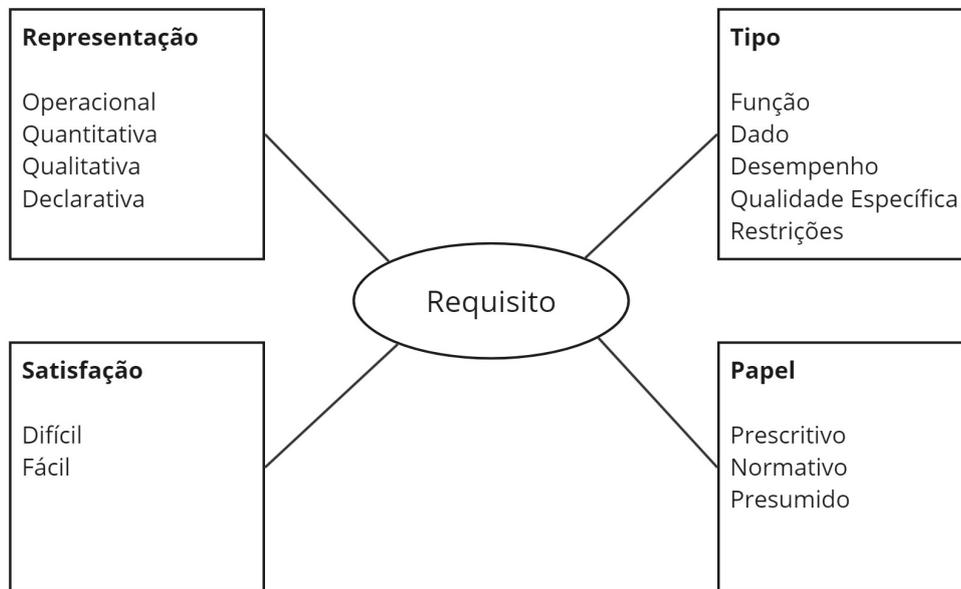
A forma de representação está associada a forma como o requisito pode ser verificado, assumindo 4 formas distintas. Na operacional o requisito descreve o que o sistema deve fazer. A forma quantitativa acopla requisitos verificados por medição, como desempenho, disponibilidade e confiabilidade. Na forma qualitativa faz parte requisitos que não podem ser verificados diretamente, como objetivos de negócio e objetivos de qualidade. Por último, a forma declarativa contém requisitos que descrevem alguma situação necessária, como dados e restrições.

Existem 3 diferentes papéis que um requisito pode assumir. O Prescritivo especifica propriedades do sistema; o Normativo declara regras no ambiente que influenciam o projeto; e o Presumido descreve como um ator se comporta ao utilizar o sistema.

Os requisitos podem ser satisfeitos de acordo com dois casos, sendo eles: de difícil satisfa-

ção, onde o requisito é satisfeito ou não satisfeito; e de fácil satisfação, no qual o requisito é satisfeito de maneira gradual.

Figura 4 – Classificação dos Requisitos de Forma Facetada



Fonte: Baseado em (GLINZ, 2005)

Como pode ser visualizado nas Figuras 3 e 4, não há uma classificação universal para todos os diferentes domínios e nem uma lista de requisitos única e geral que comporte todos os tipos diferentes de requisitos.

Nesta pesquisa, o foco principal é exclusivamente os Requisitos Não-Funcionais para Sustentabilidade. Ao considerarmos a sustentabilidade como um requisito primário e incluirmos ele como um RNF desde o início do ciclo de desenvolvimento de software, conseguimos tornar a sustentabilidade uma preocupação essencial do software, com sua devida importância (PENZENSTADLER et al., 2014). Com isso é possível analisar e implementar soluções voltadas para a resolução de problemáticas enfrentadas pela sustentabilidade, sejam elas ambientais, sociais, econômicas, técnicas ou individuais. No fim do processo de desenvolvimento, o produto de software deve ser avaliado como sustentável durante todo o seu ciclo de vida.

2.2 NFR FRAMEWORK

Os RNFs para sustentabilidade presentes no catálogo NFR4SUSTAIN são expressos através de grafos, chamados Softgoal Interdependency Graph (SIG), que faz parte do NFR Framework proposto por Chung et al. (2000), que visa colocar os RNFs como foco principal na mente dos

desenvolvedores. Sendo assim, o NFR Framework foi escolhido para ser aplicado nessa pesquisa devido a seu foco na representação de requisitos não-funcionais, assim como também, na sua capacidade de representar interdependências entre RNFs.

2.2.1 Definição

O NFR Framework Desenvolvimento por Chung et al. (2000), é uma estrutura voltada para representação e análise de RNFs. Ele auxilia na organização dos RNFs em catálogos de requisitos, no qual os RNFs mais gerais são exibidos acima dos RNFs mais especializados, em uma organização hierárquica em formato de uma árvore.

2.2.2 Gráfico de Interdependência de Softgoal

O Gráfico de Interdependência de Softgoal, do inglês, Softgoal Interdependency Graph, é a forma gráfica de representação dos RNFs, no qual se pode visualizar a consideração dos desenvolvedores de softgoals e os conceitos principais do framework, além das interdependências entre requisitos. Vale ressaltar que o desenvolvedor tem total controle sobre todo o procedimento.

O SIG é composto principalmente por softgoals, os quais são representações dos RNF. Ao todo o framework conta com três tipos de softgoals, sendo eles: softgoal NFR, softgoal de operacionalização e softgoal de afirmação. Os demais componentes são: os links de interdependências que conectam os softgoals e indicam os seus refinamentos e contribuições; os refinamentos decompõem um softgoal “pai” em descendentes mais específicos, da mesma forma que mostram a contribuição de um softgoal descendente para o softgoal pai. Por fim, com base nos refinamentos e contribuições de cada softgoal, é possível realizar um procedimento de avaliação, que associa um rótulo representando o grau que aquele softgoal foi alcançado. Os componentes mencionados são descritos mais detalhadamente nas próximas subseções.

2.2.3 Softgoal NFR

Com base nos conhecimentos do desenvolvedor, serão identificados os RNFs do sistema, no qual cada requisito não-funcional é representado no SIG como um softgoal NFR, representado

no formato de uma nuvem clara (Figura 5).

Cada softgoal tem um tipo de requisito e um ou mais tópicos associados a ele. Por exemplo, em um softgoal de Segurança de Veículos, Segurança é o tipo de requisito e Veículos é o tópico. O tipo é do que se trata o softgoal, por exemplo: Segurança, Disponibilidade, Acessibilidade etc. O tópico é o assunto o qual o softgoal está relacionado. Ao mudar o tipo ou tópico do softgoal seu significado também muda, um softgoal de Segurança de Veículos é diferente de um softgoal de Segurança de Aviões, da mesma forma que um softgoal de Disponibilidade de Bicicletas é diferente do softgoal de Acessibilidade de Bicicletas.

Figura 5 – Softgoal NFR



Fonte: (CHUNG et al., 2000)

2.2.4 Refinamentos

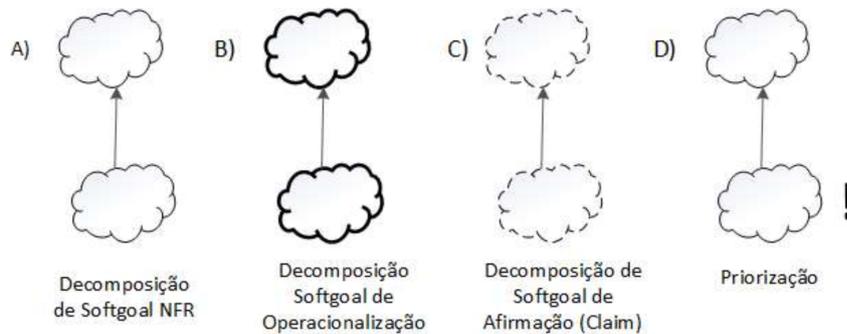
Os softgoals iniciais podem ser representados de forma ambígua ou de modo muito geral, contendo um significado que abrange diversas interpretações, tornando necessário que cada softgoal seja refinado em softgoals mais específicos. Sendo assim, um softgoal “pai” é refinado em um ou mais softgoals “descendentes” mais específicos até que não seja mais possível decompor. O ideal é que um softgoal seja refinado até que seja possível elaborar possíveis operacionalizações para os requisitos.

Os refinamentos são normalmente representados no SIG por uma linha e uma seta, tendo simbolizações diferentes dependendo do tipo de refinamento. Os tipos que os refinamentos assumem são: decomposição, operacionalização e argumentação. No refinamento de softgoals também é possível lidar com priorizações.

- **Decomposição:** refina um softgoal geral em outro softgoal mais específico do mesmo tipo, ao realizar essa decomposição é possível lidar com grandes problemas em termos menores. A decomposição assume 3 formas (Figura 6): a decomposição de NFR, que refina um softgoal NFR em outro softgoal NFR; a decomposição de operacionalização que refina um softgoal de operacionalização em outro softgoal de operacionalização; e

por fim, a decomposição de argumentação que refina um softgoal de afirmação em outro softgoal de afirmação. Além dos três tipos de decomposição, também existe um tipo especial de decomposição, a priorização, que refinado um softgoal em outro softgoal com o mesmo tipo e tópicos, entretanto com uma priorização associada a ele.

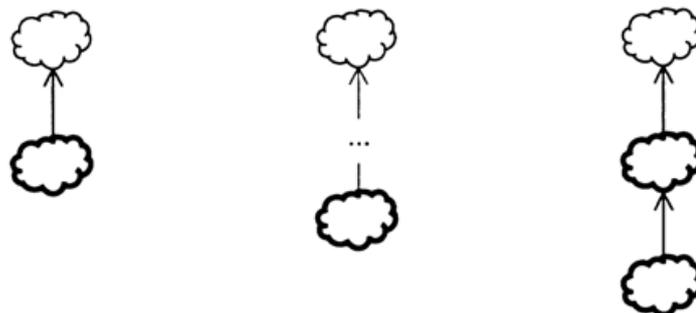
Figura 6 – Refinamentos de Softgoals



Fonte: Baseado em (CHUNG et al., 2000)

- Operacionalização: refina um softgoal em softgoals de operacionalização (Figura 7). O termo de operacionalização também se enquadra quando um softgoal de operacionalização “pai” é decomposto em outro softgoal de operacionalização “filho”. Neste caso, essa decomposição é útil para que uma solução geral seja dividida em soluções específicas.

Figura 7 – Operacionalização de Softgoals



Fonte: (CHUNG et al., 2000)

- Argumentação: refina um softgoal de qualquer tipo (NFR, Operacionalização e Afirmação) ou interdependência em um softgoal de afirmação (Figura 8). Os refinamentos de afirmações são diferentes dos refinamentos de softgoals NFR e Operacionalizações. Eles podem ter uma descendência de qualquer tipo, com isso pode-se ter diversas interpretações dos refinamentos de afirmação, quando refinado de um softgoal NFR pode indicar uma justificativa para priorização ou existência do softgoal NFR. Quando refinado de

uma operacionalização indica a razão para se escolher a solução, quando refinado de uma ligação de interdependência representa o motivo dos refinamentos serem feitos, e por último, quando refiando de outra afirmação é uma decomposição de argumentação.

Figura 8 – Argumentação de Softgoals



Fonte: (CHUNG et al., 2000)

- **Priorização:** um softgoal com uma priorização pode ser entendido como necessário para o sucesso do sistema ou com uma grande relevância e impacto (Figura 9). Uma priorização pode estar associada a qualquer softgoal ou interdependência. Essencialmente as priorizações ajudam na escolha de softgoals e operações.

Figura 9 – Priorização



Fonte: (CHUNG et al., 2000)

2.2.5 Operacionalizações

Após os softgoals NFRs iniciais serem refinados até um ponto em que estejam especializados o suficiente e tenham um conjunto adequado de softgoals descendentes, será possível e necessário para o desenvolvedor elaborar possíveis soluções para serem implementados que satisfaçam os softgoals, os quais são representados no SIG por softgoals de operacionalização em formato de nuvens mais espessas (Figura 10). As soluções do softgoal de operacionalização não se limitam a somente operações, permitindo assumir formato de técnicas, dados, estruturas, restrições, entre outros. Os softgoals de operacionalização satisfazem tanto os RNFs quanto os RFs, pois fornecem métodos concretos ao sistema.

Figura 10 – Softgoal de Operacionalização



Fonte: (CHUNG et al., 2000)

2.2.6 Afirmações

Os softgoals de afirmação apresentam conhecimento de domínio e representam justificativas para apoiar ou negar as decisões adotadas pelo desenvolvedor, são simbolizadas por nuvens tracejadas (Figura 11). Tem por finalidade justificar a forma como os requisitos são priorizados, refinados e como seus componentes são selecionados, além de ajudarem na revisão posterior e no rastreamento de mudanças.

Figura 11 – Softgoal de Afirmação



Fonte: (CHUNG et al., 2000)

2.2.7 Contribuição

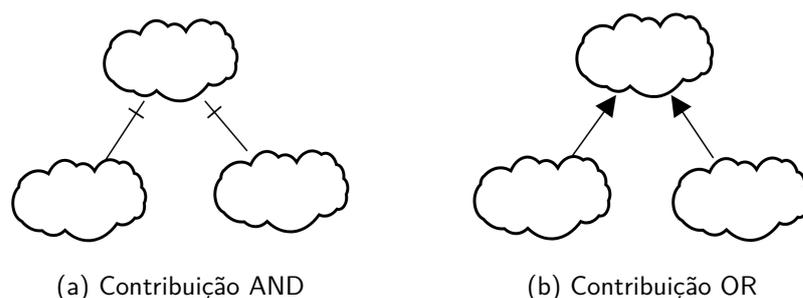
Um softgoal descendente pode contribuir positivamente ou negativamente para satisfação do softgoal pai. No NFR Framework existem diferentes tipos de contribuição que indicam como o softgoal descendente contribui para satisfação do softgoal pai, as quais são: AND, OR, BREAK, HURT, UNKNOWN, HELP, MAKE E SOME.

- **AND**: se todos os softgoals descendentes forem satisfeitos, então o softgoal ascendente também será satisfeito.
- **OR**: se qualquer um dos softgoals descendentes forem satisfeitos, então o softgoal ascendente também será satisfeito.

- **BREAK(- -)**: contribui totalmente e de forma negativa para o softgoal ascendente, se o softgoal descendente for satisfeito o softgoal ascendente será negado.
- **HURT(-)**: contribui parcialmente e de forma negativa para o softgoal pai, se o softgoal descendente for satisfeito o softgoal ascendente receberá uma contribuição parcial negativa.
- **UNKNOWN(?)**: o softgoal descendente faz alguma contribuição para o softgoal pai, mas essa contribuição é desconhecida, não contendo informações se a contribuição é parcial ou total e se é positiva ou negativa.
- **HELP(+)**: contribui parcialmente e de forma positiva para o softgoal pai, se o softgoal descendente for satisfeito o softgoal ascendente receberá uma contribuição parcial positiva.
- **MAKE(++)**: contribui totalmente e de forma positiva para o softgoal pai, se o softgoal descendente for satisfeito o softgoal ascendente será satisfeito.
- **SOME**: quando se sabe que o softgoal descendente contribui positivamente ou negativamente para o softgoal pai. Porém, não tem conhecimento se a contribuição é parcial ou total. Usa-se **SOME-** quando a contribuição é negativa e **SOME+** quando a contribuição é positiva.

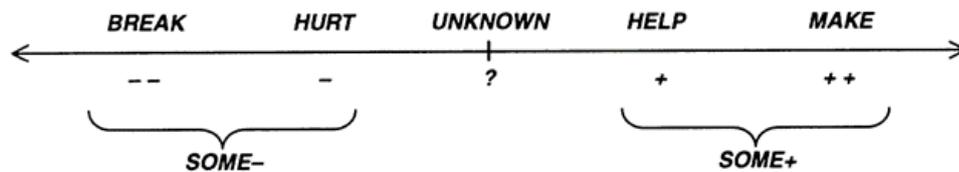
Cada contribuição aponta se o softgoal ascendente será satisfeito ou negado, com isso é possível atribuir um rótulo indicando se o softgoal foi atendido ou não. Este rótulo é atribuído através de um procedimento de avaliação, explicado na próxima sub-seção. A simbolização dos tipos AND e OR podem ser visualizadas na Figura 12, enquanto os demais tipos (BREAK, HURT, UNKNOWN, HELP, MAKE E SOME) são representados na Figura 13.

Figura 12 – Contribuições AND e OR



Fonte: Adaptado de (CHUNG et al., 2000)

Figura 13 – Contribuições



Fonte: (CHUNG et al., 2000)

2.2.8 Procedimento de Avaliação

Após os softgoals serem refinados e suas contribuições estejam declaradas, é importante para o processo de desenvolvimento avaliar se os softgoals estão sendo alcançados. Para isso o NFR Framework conta com um processo de avaliação capaz de medir o grau que cada softgoal e interdependência foi alcançado, atribuindo um rótulo sinalizando a satisfação do softgoal (Figura 14).

A avaliação consiste em um procedimento BOTTOM-UP (de baixo para cima). Os softgoals descendentes são analisados para que seja determinado o nível de satisfação do softgoal ascendente. Ao todo, pode-se atribuir um dos 6 tipos de rótulos ao softgoal (Figura 14), que são: satisfeito, francamente satisfeito, negado, francamente negado, conflitante e indeterminado.

Figura 14 – Rótulos

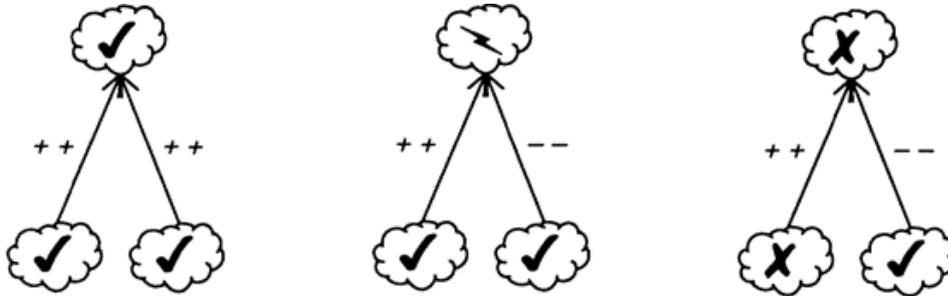


Fonte: Baseado em (CHUNG et al., 2000)

O processo de avaliação contém dois passos. O primeiro verifica inicialmente as contribuições das “folhas” do SIG até a parte inicial para determinar o impacto individual da contribuição de cada softgoal descendente para com o softgoal ascendente, de acordo com o tipo de contribuição dos descendentes é propagado um rótulo para seu ascendente. Depois de todos os rótulos dos softgoals descendentes serem recolhidos, no segundo passo esses rótulos são combinados em único rótulo que é atribuído ao softgoal ascendente (Figura 15). Vale ressaltar que todo o procedimento é interativo, o desenvolvedor pode utilizar de seu conhecimento em

requisitos e no domínio, além de qualquer outro conhecimento complementar, para atribuir e modificar rótulos. Em casos de conflitos também é necessário que o desenvolvedor utilize de seus conhecimentos para solucionar o problema e modificar o rótulo do softgoal ascendente.

Figura 15 – Exemplo de União de Rótulos



Fonte: (CHUNG et al., 2000)

2.3 SUSTENTABILIDADE

Quando falamos de sustentabilidade de software, é necessário diferenciar *Green By Software* e *Green In Software* (CALERO; PIATTINI, 2017). O primeiro é o software como mediador para promover a sustentabilidade, enquanto o segundo é a sustentabilidade do próprio software. Nesse trabalho será focado em *Green In Software*, cuja preocupação é o próprio software e tem como objetivo principal incluir a sustentabilidade no desenvolvimento de software e nas demais fases da ES (CALERO; PIATTINI, 2017).

2.3.1 Definição

A sustentabilidade pode ser entendida como o ato de “perdurar algo” ou de “algo durar por um longo tempo” (OED, 2023). Porém, esta definição não abrange a totalidade do que realmente é sustentabilidade (VENTERS et al., 2023). Devido ao conceito de sustentabilidade de software ser complexo e multifacetado (VENTERS et al., 2014), por muito tempo, na área de ES, prevaleceu a ausência de um consenso sobre o termo de sustentabilidade. Portanto, ele é usado de forma ambígua por grande parte dos pesquisadores, faltando um entendimento comum de conhecimento do que faz um sistema ser sustentável na comunidade de ER (BAMBAZEK; GROHER; SEYFF, 2023),

Uma definição amplamente conhecida proposta pela ONU no Relatório de Brundtland, define a sustentabilidade como “satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a

capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades" (BRUNDTLAND, 1987). Entretanto, essa definição é muito ampla e de difícil aplicação (VENTERS et al., 2014).

Por muito tempo adotou-se o conceito de 3 dimensões de sustentabilidade, que são as dimensões ambiental, social e econômica. Porém, alguns autores acreditam que essas dimensões não são o bastante para garantir a sustentabilidade de software (CALERO; PIATTINI, 2017). Em resposta, há outra definição bastante aceita pela comunidade definida pelo Manifesto de Karlskrona (BECKER et al., 2015b), que compreende a sustentabilidade como um conjunto de dimensões, composta pelas dimensões ambiental, social, econômica, técnica e individual, que foram definidas inicialmente por (PENZENSTADLER; FEMMER, 2013). Essa abordagem multifacetada destaca a complexidade inerente da sustentabilidade, na qual é necessário equilibrar as necessidades de cada dimensão, para que assim alcancemos de fato a sustentabilidade.

- **Dimensão Ambiental:** trata essencialmente sobre a proteção dos recursos naturais para melhoria do bem-estar humano. Considera os impactos ambientais ao meio ambiente, como: consumo de energia, desperdício, reutilização de materiais, diminuição de poluentes, energias renováveis, entre outros.
- **Dimensão Social:** preocupa-se com os efeitos causados na sociedade como um todo, na preservação da sociedade e das comunidades. Considera os fatores que fomentam a confiança da sociedade, por exemplo: comunicação, justiça, emprego, equidade, governo, etc.
- **Dimensão Econômica:** visa a manutenção dos ativos, do valor e do capital. Preocupa-se na geração de valor econômico, por exemplo: prosperidade, rendimentos, investimentos, geração de dinheiro, diminuição de gastos, aumento de produtividade, entre outros.
- **Dimensão Técnica:** tem como objetivo principal a longevidade do sistema e infraestruturas, do desenvolvimento a longo prazo, da manutenção do sistema. Assim como também da evolução adequada e da capacidade de se adaptar as mudanças futuras (PENZENSTADLER; FEMMER, 2013), como exemplo: manutenção, inovação, obsolescência, etc.
- **Dimensão Individual:** lida com a manutenção do bem privado, do capital humano (PENZENSTADLER; FEMMER, 2013) e do bem-estar individuais de cada indivíduo (BECKER et al., 2015b). Está relacionada a educação, a saúde física e mental, a mobilidade, o conhecimento, a liberdade, etc.

Nesta dissertação o foco principal de interesse são as dimensões econômica, social e técnica. Tendo em vista o que no trabalho utilizado como base (MOREIRA et al., 2023) para o levantamento bibliográfico foram estudadas as dimensões social e técnica, está pesquisa busca adicionar uma nova dimensão de sustentabilidade, a dimensão econômica. A escolha de adicionar a dimensão econômica foi devido a sua importância para os desenvolvedores e *stakeholders*, mas com pouco interesse para os pesquisadores (BAMBAZEK; GROHER; SEYFF, 2023). Foi escolhido deixar as dimensões ambiental e individual para serem abordadas em trabalhos futuros devido à complexidade de se trabalhar e definir a sustentabilidade. Com isso, foi definido um escopo menor para desenvolver um trabalho mais preciso e as dimensões de interesse sejam melhor trabalhadas.

Em complemento, no estudo de McGuire et al. (2023) é relatado propriedades inerentes da sustentabilidade. Eles definem que a sustentabilidade é multissistêmica, o que sugere que ela não envolve somente um único sistema isolado, mas sim a interação entre dois ou mais sistemas. Além disso, eles descrevem a sustentabilidade como estratificada, o que permite visualizar e avaliar a sustentabilidade em diferentes camadas, desde um nível local até um nível global. A outra propriedade definida por eles é que a sustentabilidade é colaborativa, revelando a importância de ter diferentes stakeholders envolvidos para garantir a sustentabilidade. Outro ponto destacado é a diferenciação da sustentabilidade do produto da sustentabilidade do processo. Não se tratando somente de desenvolver produtos sustentáveis, mas também de como desenvolver eles de forma sustentável.

Um sistema tem sua sustentabilidade influenciada pela interseção com outros sistemas ou subsistemas. Por exemplo, um sistema faz uso de linguagens de programação, bibliotecas, frameworks, banco de dados, entre outros subsistemas. A forma que o sistema se relaciona com esses subsistemas influencia diretamente a sua sustentabilidade a longo prazo. Outro exemplo da influência de multissistemas na sustentabilidade é um sistema de transporte público de uma cidade. Ele depende de um conjunto de outros sistemas para garantir sua eficiência e sustentabilidade, tais como: sistemas de pagamento eletrônico, sistemas de controle de tráfego, sistemas de planejamento urbano e sistemas de comunicação de emergência.

A sustentabilidade é estratificada, pois depende do contexto ao qual está inserida. A sustentabilidade econômica pode referir-se a economia de um país, estado, cidade, município, empresa, governo, etc. Enquanto a sustentabilidade técnica é possível estar ligada a um componente, código, decisões de design, o sistema inteiro, entre outros. A sustentabilidade social é capaz de abordar comunidades, organizações, questões globais, etc. Enfim, a sustentabili-

dade ambiental pode remeter a qualquer coisa, desde problemas globais de aquecimento até problemas ambientais específicos de uma região, como deslizamentos, alagamentos, quedas de energia, etc.

Para que a sustentabilidade possa ser alcançada é necessário da colaboração de diferentes partes envolvidas ao invés de esforços isolados (MCGUIRE et al., 2023), requerendo que existam diversos stakeholders interessados em diferentes dimensões de sustentabilidade para que nenhuma das dimensões seja negligenciada. Isso revela a propriedade colaborativa da sustentabilidade, onde é necessário a interação de diferentes stakeholders com conhecimentos e domínios diferentes para assegurar que todas as vertentes da sustentabilidade estão sendo levadas em consideração.

Ao produzir um produto de software sustentável pode-se adotar um processo de desenvolvimento que não seja sustentável, como também, é possível que um processo sustentável não gere um produto sustentável (MCGUIRE et al., 2023). Dessa forma, uma empresa é capaz de ter um perfil misto de sustentabilidade. Por exemplo, ao promover ações de descanso e lazer no trabalho (socialmente sustentável) e, ao mesmo tempo, ter grandes índices de desperdício de recursos naturais (ambientalmente insustentável).

2.3.2 Ordens de Efeito

Atualmente no processo de desenvolvimento de software uma das maiores preocupações é com a velocidade de entrega do sistema e com os retornos imediatos de investimentos, em que muitas vezes os sistemas não são pensados para funcionamento durante longos períodos, com grandes riscos de se tornarem obsoletos ou descartáveis. Em contrapartida, quando se fala de sustentabilidade, é necessário pensar nos efeitos que os sistemas podem causar a longo prazo, quais as mudanças estruturais aquele sistema trará para a sociedade, como ele se adaptará e qual será seu comportamento depois de vários anos em funcionando. Tornando-se indispensável analisar não somente os efeitos diretos ou indiretos, mas também as mudanças estruturais causadas pelo sistema, pois quando é preferível o sucesso a curto prazo em detrimento as questões de sustentabilidade a longo prazo, acumula-se ameaças a sustentabilidade (BECKER et al., 2015b).

Os efeitos podem ser divididos em efeitos de primeira ordem (efeitos diretos), de segunda ordem (efeitos indiretos) e efeitos de terceira ordem (mudanças estruturais):

- **Efeitos Diretos:** são os impactos que ocorrem imediatamente resultando da existência e uso do sistema, como exemplo: produção de lixo, gasto de energia.
- **Efeitos Indiretos:** são as mudanças ocasionadas indiretamente pelo sistema, pelo uso contínuo do software, o qual muda a forma como fazemos algum processo ou tarefa, por exemplo: o comportamento do cliente.
- **Mudanças Estruturais:** mudanças socioeconômicas ocasionadas a médio e longo prazo pelo uso do sistema.

Para melhorar a sustentabilidade nos sistemas de software é essencial apoiar os efeitos de segunda e terceira ordem, o que normalmente não é levado em conta pelos desenvolvedores de software, pois após a entrega do software eles não serão responsabilizados (PENZENSTADLER, 2015). Porém, as organizações de desenvolvimento de software devem ser responsabilizadas pelo impacto a longo prazo que seus sistemas causam na sociedade (CHITCHYAN et al., 2016). Também é responsabilidade do designer de tecnologia de software as consequências a longo prazo que seus projetos possam causar (BECKER et al., 2015b).

2.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Esse capítulo apresentou os principais conceitos utilizados nesse estudo e necessários para entendimento do trabalho realizado nos demais capítulos. Primeiramente na seção 2.1 foi abordado os conceitos fundamentais de RNFs, sua definição, utilização e importância. Em seguida, apresentamos o NFR Framework na seção 2.2, com explicações de sua estrutura e abordagem para lidar com RNFs. Por último, na seção 2.3 foi abordado o tema de sustentabilidade, explicando sua definição, dimensões e ordens de efeito.

3 NFR4SUSTAIN - CATÁLOGO DE REQUISITOS NÃO-FUNCIONAIS PARA SUSTENTABILIDADE

Neste capítulo é apresentado o catálogo de requisitos não-funcionais para sustentabilidade de software, denominado NFR4SUSTAIN. Inicialmente descrevemos o processo para sua construção. Em seguida apresentamos o catálogo, incluindo os requisitos principais e seus requisitos secundários, através de três SIGs, mostrando a hierarquia de requisitos, bem como cartões de especificação de cada requisito. Por fim, é realizada uma discussão sobre aspectos do catálogo proposto, além de uma síntese do capítulo.

3.1 CONSTRUÇÃO DO CATÁLOGO

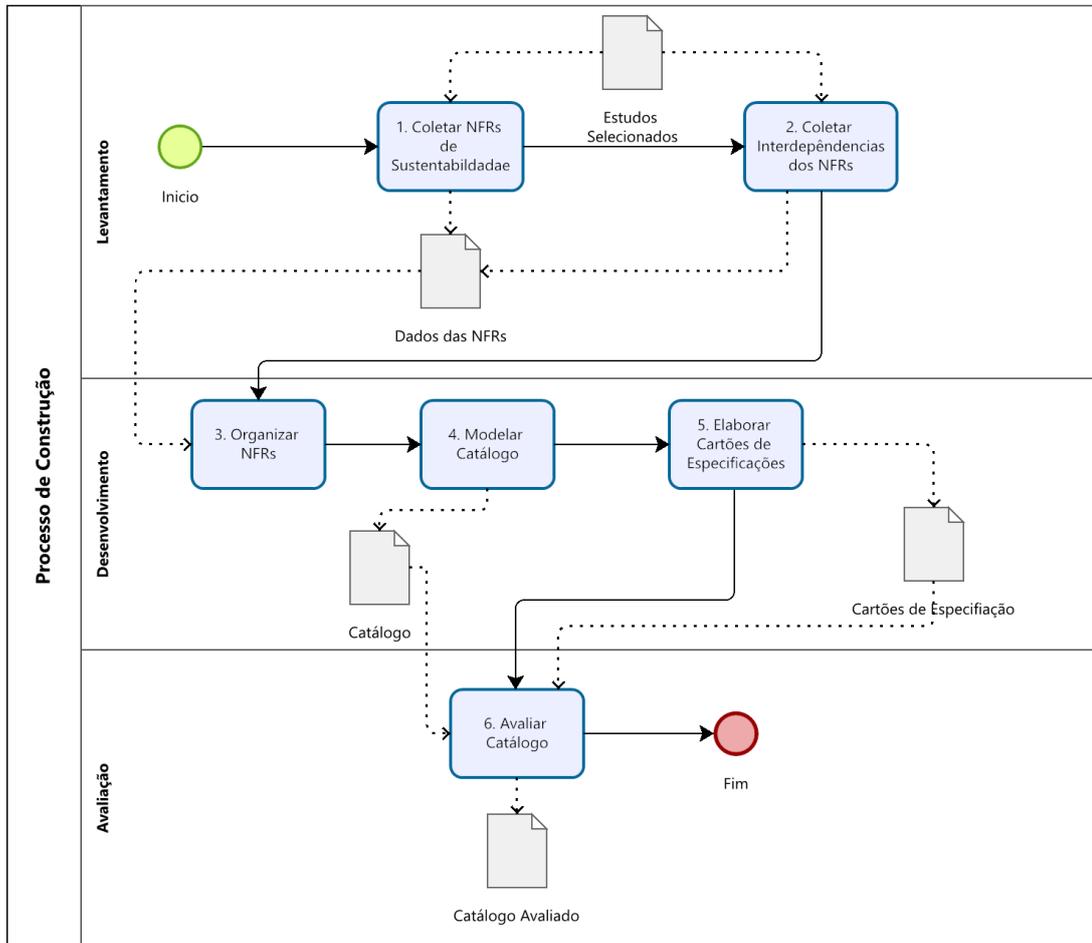
Para construção do catálogo foi conduzida a análise de diversos estudos primários da área que abordam as dimensões de sustentabilidade econômica, social e técnica. Desta forma foram levantados os dados necessários para elaboração de cada requisito relacionado a sua devida dimensão, bem como as relações e interdependências entre esses requisitos. A partir de uma minuciosa análise de todos os dados coletados foi desenvolvido o catálogo de requisitos NFR4SUSTAIN e os cartões de especificação.

O procedimento seguido para construção do catálogo NFR4SUSTAIN nesse estudo 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 16.

Na primeira fase de levantamento, foram realizadas as tarefas 1 e 2 para identificação dos Requisitos Não-Funcionais (RNF) para a sustentabilidade e identificação das interdependências existentes entre os RNFs respectivamente. Para investigação dos componentes fundamentais do catálogo foram analisadas diversas pesquisas que abordam o tema de requisitos e sustentabilidade. A finalidade foi verificar pesquisas relevantes para embasamento e levantamento das propriedades de qualidade e suas interdependências, que englobam o catálogo de requisitos para a sustentabilidade desenvolvido nessa pesquisa.

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 de (MOREIRA et al., 2023), que foi considerado como base inicial para concepção dessa pesquisa, pois é um estudo recente que aborda uma proposta de um catálogo de requisitos para a sustentabilidade das dimensões social e técnica. Com isso, este estudo foi proposto para tentar melhorar as di-

Figura 16 – Procedimento do Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

mensões já apresentadas por eles, acrescentar uma nova dimensão e melhorar o entendimento das definições dos requisitos presentes no catálogo. Devido o estudo escolhido ser recente não foi realizada uma *snowballing* para frente. Portanto, somente foi efetivado uma *snowballing* para trás, o qual retornou um total de 19 estudos (Tabela 2).

De forma complementar também foram considerados os trabalhos encontrados na revisão sistemática de Ribeiro et al. (2024). Esta revisão serviu como uma base complementar por ser um trabalho recente que destaca assuntos relevantes para as áreas de ER e sustentabilidade e abordam duas das dimensões de interesse nesse trabalho, a dimensão social e a dimensão técnica. Em especial, como um dos trabalhos analisados foi o estudo primário (MOREIRA et al., 2023) utilizado na técnica de *snowballing* desta dissertação, foram considerados todos os demais artigos encontrados, em um total de 8 novos estudos (Tabela 2). Ao final, foi contabilizado um total de 27 artigos escolhidos pela técnica de *snowballing* e pela revisão sistemática, que são exibidos com mais detalhes na Tabela 2.

Tabela 2 – Estudos Analisados

#	Técnica de Snowballing em Moreira et al. (2023)	Revisão Sistemática de Ribeiro et al. (2024)
1	(FERNANDEZ; LAGO, 2019)	(HELDAL et al., 2024)
2	(OYEDEJI; SEFFAH; PENZENSTADLER, 2018)	(BAMBAZEK; GROHER; SEYFF, 2022)
3	(CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018)	(AHMAD, 2022)
4	(CALERO; PIATTINI, 2017)	(KARITA et al., 2021)
5	(CHITCHYAN et al., 2016)	(WAYCHAL et al., 2021)
6	(SAPUTRI; LEE, 2016)	(PENZENSTADLER, 2020)
7	(BECKER et al., 2015b)	(DUBOC et al., 2019)
8	(BECKER et al., 2015a)	(WINTER et al., 2019)
9	(PENZENSTADLER, 2015)	
10	(HILTY; AEBISCHER, 2015)	
11	(PENZENSTADLER, 2014)	
12	(VENTERS et al., 2014)	
13	(RATURI et al., 2014)	
14	(PENZENSTADLER et al., 2014)	
15	(VENTERS et al., 2014)	
16	(PENZENSTADLER; FEMMER, 2013)	
17	(NAUMANN et al., 2011)	
18	(EASTERBROOK, 2010)	
19	(WINDEN, 2007)	

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Após identificação dos RNFs e suas interdependências prosseguimos para a fase de desenvolvimento com a tarefa 3 de organizar os RNFs, que alocou 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 16 requisitos principais e 39 requisitos secundários (Tabela 3).

Na tarefa 4 o catálogo em si foi criado por meio do NFR Framework (CHUNG et al., 2000), que permite criar uma estrutura de requisitos denominada SIG. Têm como finalidade colocar os requisitos não-funcionais como parte fundamental na mente do desenvolvedor (CHUNG et al., 2000). O NFR Framework 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; capacidade de avaliar o grau de satisfação em que o requisito foi alcançado. Sendo capaz de lidar com RNFs de naturezas distintas e suas interações (CHUNG et al., 2000).

A tarefa 5, a fase de desenvolvimento, lidou com a elaboração dos cartões de especificação. Para cada requisito do catálogo foi criado um respectivo cartão de especificação. O cartão contém o rastreamento da origem do requisito de acordo com sua referência bibliográfica, uma descrição de seu significado, a qual dimensão ele pertence, suas dependências e suas interdependências.

Por último, a fase de avaliação conta com a tarefa 6 de avaliação do catálogo desenvolvido. Ela incluiu a ilustração da aplicação e utilização do catálogo através de uma Prova de Conceito no contexto real de um serviço que visa incentivar hábitos saudáveis e sustentáveis. Também foram realizadas entrevistas com especialistas das áreas relacionadas a sustentabilidade, NFR Framework e requisitos. Além disso, foram consultados a opinião de alunos da turma de engenharia de requisitos, tanto ao nível de graduação como de pós-graduação.

3.2 CATÁLOGO

O catálogo abrange 16 requisitos principais e 39 requisitos secundários. A Tabela 3 explicita todos os requisitos encontrados, quais dimensões de sustentabilidade eles pertencem e os requisitos secundários (refinamentos) que pertencem aos requisitos principais.

A Tabela 3 foi construída com base nos requisitos encontrados a partir do levantamento bibliográfico realizado. O rastreamento de cada requisito presente na tabela pode ser encon-

trado em detalhes no Apêndice A. Nos cartões de especificação também é possível encontrar o rastreamento de seu respectivo requisito.

Em seguida, serão apresentados, em forma gráfica, os RNFs das dimensões econômica, social e técnica. Todo RNF é acompanhado de um cartão de especificação com detalhes e informações importantes para seu entendimento.

Cada requisito pode ter uma conexão de refinamento ou de interdependência (vide Apêndice B) com outros requisitos. Os refinamentos são conexões diretas entre um requisito “pai” e um ou mais requisitos “filho”, que indicam quais requisitos “filhos” pertencem/contribuem para o requisito “pai”. Por exemplo, o requisito de Satisfação é refinado para os requisitos de Confiança e Utilidade, ou seja, para atender o requisito de Satisfação é necessário primeiro atender os requisitos de Confiança e Utilidade. Por outro lado, as interdependências são contribuições indiretas que indicam quais requisitos podem ajudar ou atrapalhar outros requisitos sem que estejam totalmente conectados. Por exemplo, um sistema que pode se recuperar de falhas, contribui indiretamente para a disponibilidade do sistema.

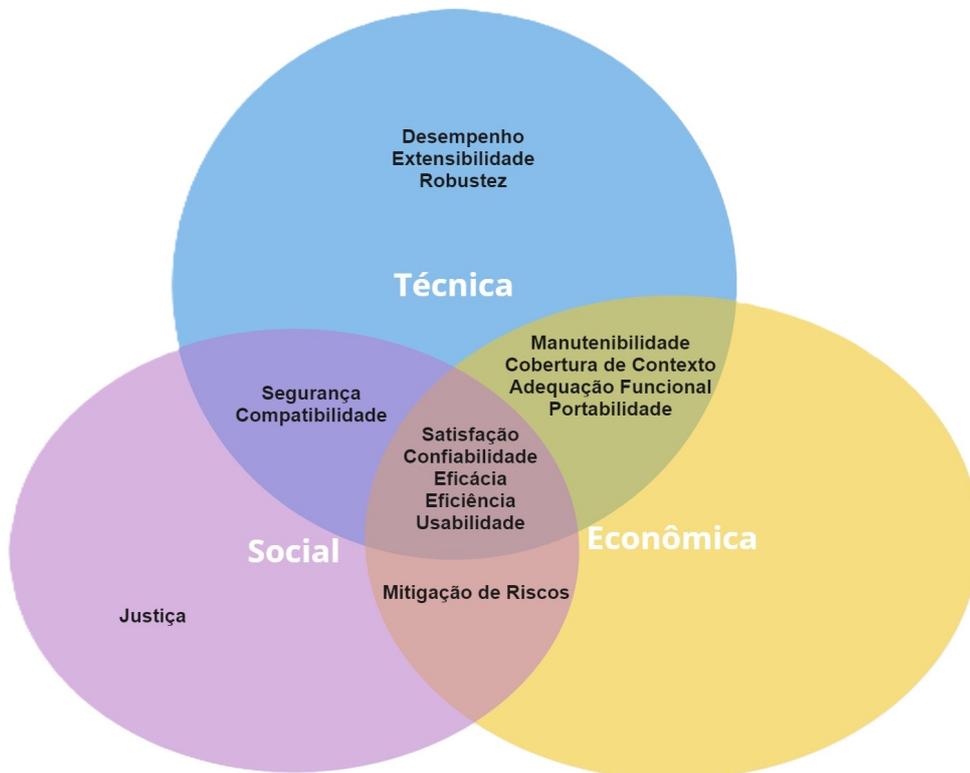
Tabela 3 – Requisitos para Sustentabilidade

#	Requisito Principal	Requisitos 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 Escalabilidade Instabilidade Substitutibilidade			
13	Robustez				
14	Satisfação	Confiança Utilidade			
15	Segurança (Security)	Responsabilidade Autenticidade Confidencialidade Integridade Sem Repúdio			
16	Usabilidade	Reconhecimento de Adequação Acessibilidade Aprendizagem Operabilidade Proteção Contra Erros do Usuário			

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Com o intuito de deixar a pesquisa condizente com os dados encontrados, foi preservado dentro do possível as denominações empregadas em outros trabalhos. Desta forma evitam-se possíveis confusões ou erros de terminologia, bem como facilita futuras pesquisas e rastreamento dos requisitos presentes no catálogo.

Figura 17 – Diagrama de Venn dos Requisitos das Dimensões de Sustentabilidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Conforme pode ser visualizado na Tabela 3, diversos requisitos podem contribuir para mais de uma dimensão de sustentabilidade ao mesmo tempo, revelando dependências diretas entre as dimensões (Figura 17). Foram identificados cerca de 5 requisitos primários (Satisfação, Confiabilidade, Eficácia, Eficiência e Usabilidade) que tem alguma contribuição para as 3 dimensões analisadas. Logo, ao focar em satisfazer esses requisitos estará beneficiando as dimensões econômica, social e técnica simultaneamente.

Contudo, é preciso analisar como os requisitos secundários contribuem para as diversas dimensões. Por exemplo, embora a Confiabilidade esteja presente nas três dimensões, apenas na dimensão técnica que os seus quatro requisitos secundários (Disponibilidade, Recuperabilidade, Tolerância a Falhas e Maturidade) estão presentes. Na dimensão econômica, somente Disponibilidade e Recuperabilidade tem alguma contribuição. Enquanto na dimensão social só Disponibilidade tem importância.

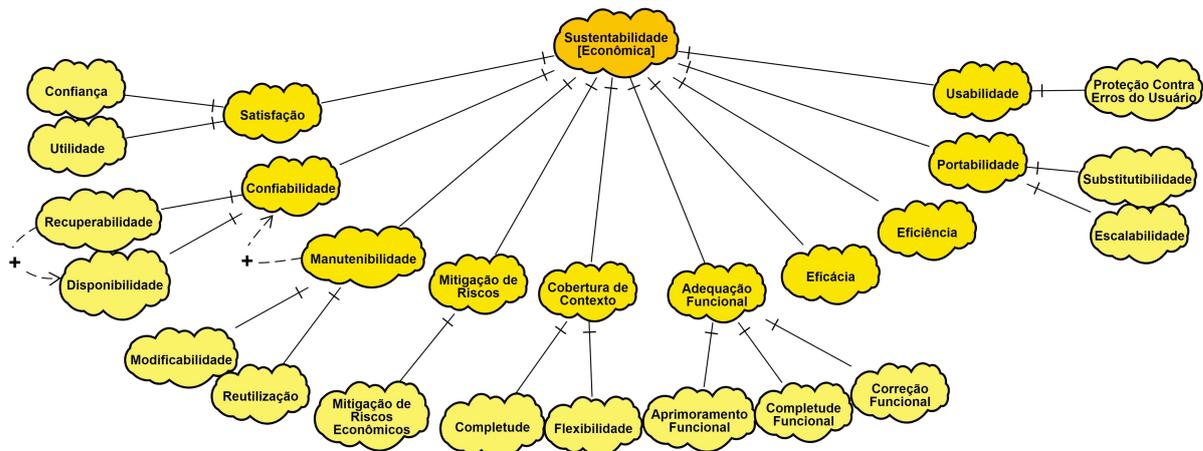
A dimensão técnica possui exclusivamente 3 requisitos (Desempenho, Extensibilidade e Robustez) que não estão ligadas diretamente a outras dimensões. Enquanto a dimensão social possui somente o requisito de Justiça atribuída exclusivamente a ela. Por fim, a dimensão econômica não possui nenhum requisito exclusivo, demonstrando uma forte dependência direta as outras dimensões (social e técnica). Ao satisfazer esses requisitos exclusivos, eles somente beneficiaram as dimensões ao quais fazem parte.

Também, podemos analisar requisitos que são exclusivos a duas dimensões. Nas dimensões técnica e social encontramos os requisitos de Segurança e Compatibilidade como dependências exclusivas delas, ou seja, um sistema com devido nível de segurança e compatibilidade é favorável tanto para a dimensão técnica quanto para a dimensão social. Entre as dimensões social e econômica somente existe o requisito de Mitigação de Riscos como contribuinte em comum, evitar que o sistema cause possíveis malefícios aos seus utilizadores é de interesse da sustentabilidade social e econômica. Por último, existe uma quantidade considerável de dependências entre a dimensão técnica e econômica, tendo como interesses em comum os requisitos de Manutenibilidade, Cobertura de Contexto, Adequação Funcional e Portabilidade. A seguir são detalhados com mais precisão quais as contribuições que cada requisito têm para as dimensões de sustentabilidade.

3.2.1 Dimensão Econômica

Quando é tratado sobre requisitos voltados para a sustentabilidade econômica, deve-se levar em consideração que todos os atributos envolvidos devem de algum modo, direta ou indiretamente, promover a manutenção de ativos, capital ou lucro. Assim aumentando a prosperidade financeira. Ao levantarmos os dados referentes a dimensão econômica (Figura 18), foram identificados cerca de 10 atributos de qualidade principais:

Figura 18 – Requisitos de Sustentabilidade: Dimensão Econômica



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

1. **Satisfação** (em termos de Utilidade e Confiança), em termos econômicos, o software ser útil e confiável ajuda na aceitação e adesão do sistema pelos usuários, aumentando a venda e utilização do sistema;
2. **Confiabilidade** (no sentido de Disponibilidade e Recuperabilidade), enquanto o software estiver disponível para utilização ele também estará gerando lucro e valor, em caso do sistema ficar fora do ar devido a alguma falha ou erro, consequentemente ocorrerão 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;
3. **Manutenibilidade** (de Modificabilidade e Reutilização), 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;
4. **Mitigação de Riscos** (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;
5. **Cobertura de Contexto** (de Completude e Flexibilidade), garante que o sistema possa ser utilizado no contexto ao qual ele foi especificado e em outros contextos não especificados. A completude certifica a utilização do sistema no seu ambiente proposto e

a flexibilidade evita que seja necessário desenvolver um produto específico para cada contexto e com isso evitar gastos;

6. **Adequação Funcional** (de Aprimoramento Funcional, Correção Funcional e Comple-tude Funcional), um sistema capaz de funcionar corretamente, cumprindo todas as suas funções de forma que facilite a realização das tarefas e fornecendo resultados corretos tem o necessário para competir no mercado;
7. **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;
8. **Eficiência**, um sistema que realize suas funções gastando recursos de forma eficiente, ajuda na diminuição de gastos;
9. **Portabilidade** (nos termos de Substitutibilidade e Escalabilidade), permitir que um sis-tema possa substituir outro já existente evita gastos com retrabalhos ou modificações e caso o sistema consiga lidar com mudanças consideráveis de cargas de trabalho, é oportuno para conseguir atender uma carga de trabalho maior e evitar esforços desnecessários quando a carga de trabalho é baixa, deste modo, adaptando sua capacidade;
10. **Usabilidade** (de Proteção Contra Erros do Usuário), ao evitar que os usuários cometam erros, é melhorado a experiência de utilização do sistema e reduzido os custos de correção dos erros.

3.2.1.1 Interdependências - Dimensão Econômica

Tabela 4 – Interdependências - Dimensão Econômica

Requisito	Interdependências
Confiabilidade	(+) Manutenibilidade
Disponibilidade	(+) Recuperabilidade

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

[Confiabilidade]: com uma alta capacidade de manutenção é possível manter as ope-rações do sistema funcionando corretamente, assim favorecendo a confiabilidade do sistema

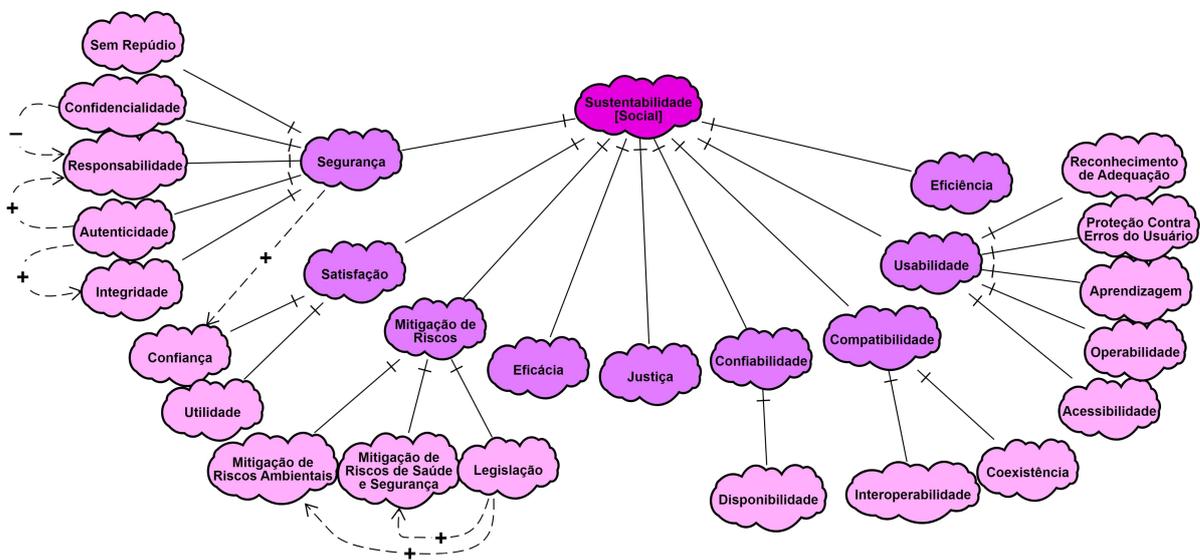
(MOREIRA et al., 2023). Manutenções regulares permitem a identificação e correção de problemas potenciais antes que se tornem críticos, garantindo a continuidade das operações sem interrupções significativas.

[Disponibilidade]: caso ocorra alguma falha no sistema que deixe suas operações indisponíveis, é necessário investir em sua capacidade de recuperação para retornar as atividades do sistema. Desse modo, a Recuperabilidade é capaz de apoiar a Disponibilidade, pois restaura a operação essencial para o funcionamento do sistema (CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018).

3.2.2 Dimensão Social

Para apoiar a dimensão social da sustentabilidade, seus requisitos devem proporcionar benefícios para a sociedade e comunidades, prezando pelo bem-estar coletivo das pessoas envolvidas e prevenindo qualquer possível prejuízo. Nessa pesquisa foram identificados 9 atributos de qualidade principais que têm pertinência para a dimensão social (Figura 19):

Figura 19 – Requisitos de Sustentabilidade: Dimensão Social



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

1. **Segurança** (em termos de Responsabilidade, Autenticidade, Confidencialidade, Integridade e Sem Repúdio), para assegurar a privacidade e os direitos dos usuários, é crucial a proteção de suas informações. 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;
2. **Satisfação** (no sentido de Confiança e Utilidade), um sistema útil e confiável aumenta a satisfação e seu valor pela sociedade que o utiliza;
 3. **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;
 4. **Eficácia**, assegura que os objetivos daqueles que utilizam o sistema sejam alcançados, satisfazendo assim os stakeholders e servindo ao propósito ao qual foi desenvolvido;
 5. **Justiça**, um sistema justo previne que ocorram preconceitos com todos os tipos de usuários, independente de gênero, sexualidade, cor de pele, etc.;
 6. **Confiabilidade** (de Disponibilidade), a sociedade é favorecida quando um sistema que satisfaça suas necessidades está constantemente disponível;
 7. **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;
 8. **Usabilidade** (de Reconhecimento de Adequação, Proteção Contra Erros do Usuário, 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;
 9. **Eficiência**, o gasto eficiente de recursos para alcançar as metas pretendidas ajuda na diminuição necessária de tempo dispostos para a tarefa, permitindo que seus usuários alcancem mais rapidamente seus objetivos.

3.2.2.1 Interdependências - Dimensão Social

Tabela 5 – Interdependências - Dimensão Social

Requisito	Contribuições Indiretas
Mitigação de Riscos Ambientais	(+) Legislação
Mitigação de Riscos de Saúde e Segurança	(+) Legislação
Confiança	(+) Segurança (Security)
Responsabilidade	(+) Autenticidade e (-) Confidencialidade
Integridade	(+) Autenticidade

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Por sua vez, a legislação tem influência ao diminuir a ocorrência de possíveis riscos ambientais e possíveis riscos de saúde e segurança da população.

[Mitigação de Riscos Ambientais]: por meio das leis, é criada uma série de regulamentações ambientais que asseguram que o meio ambiente não seja prejudicado e seus recursos não sejam utilizados de forma abusiva e excedente.

[Mitigação de Riscos de Saúde e Segurança]: também é garantido através das leis que os direitos da população sejam levados em consideração e sejam evitados eventos danosos a saúde e segurança dos indivíduos envolvidos.

[Confiança]: a segurança do sistema ajuda a aumentar a confiança dos *stakeholders* (MOREIRA et al., 2023). Quanto mais seguro o sistema de software, menos preocupações os *stakeholders* terão ao utilizá-lo.

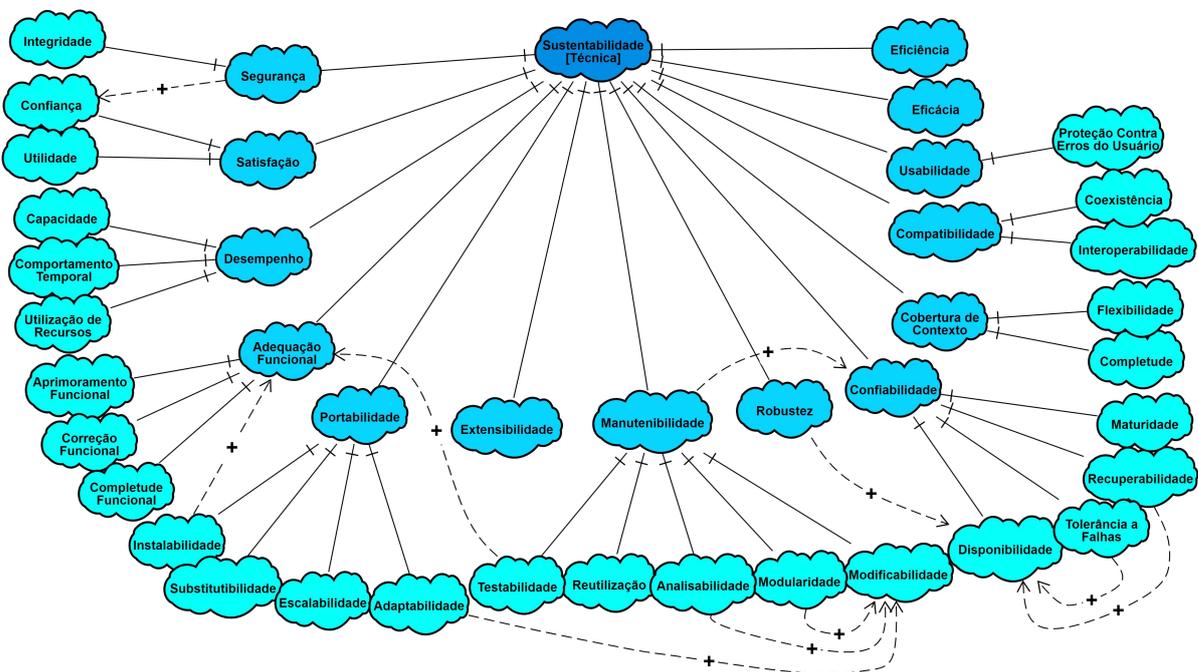
[Responsabilidade]: para alcançar a segurança de um sistema é necessário que ele tenha Responsabilidade, que permite que as ações de seus utilizadores sejam rastreadas, para isso é favorável que seja possível autenticar a identidade do usuário ou recurso. Ademais, o único relacionamento com uma contribuição negativa encontrada foi entre Confidencialidade e Responsabilidade, pois um sistema que mantém um maior anonimato dos seus dados dificulta o rastreamento da origem dos dados (MOREIRA et al., 2023).

[Integridade]: a Autenticidade também contribui para que seja mantido a integridade do sistema, visto que, é indispensável que antes de permitir a realização de uma modificação no sistema seja autenticada sua execução, assim protegendo de ações não autorizadas.

3.2.3 Dimensão Técnica

Por sua vez, os requisitos necessários para apoiar a sustentabilidade técnica devem colaborar para que o sistema de software seja durável, aumentando sua longevidade e permitindo que ele seja usável e útil durante longos períodos. Para isso é essencial o poder de evolução do software para se adaptar as mudanças. No levantamento de requisitos foram encontrados 14 atributos de qualidade principais que têm relação com a dimensão técnica (Figura 20):

Figura 20 – Requisitos de Sustentabilidade: Dimensão Técnica



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

1. **Segurança** (no sentido de Integridade), pode ser gravemente prejudicial ao sistema caso ocorra algum acesso e modificação de programas ou dados do sistema de forma não autorizada;
2. **Satisfação** (no sentido de Confiança e Utilidade), um software útil e confiável garante a utilização por seus usuários por longos períodos;
3. **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;

4. **Adequação Funcional** (de Aprimoramento funcional, Correção funcional e Completude funcional), um sistema de software tem grande valor quando consegue facilitar a realização de tarefas, cumprir todas as tarefas propostas, bem como retornar resultados corretos;
5. **Portabilidade** (de Adaptabilidade, Instalabilidade, Substitutibilidade e Escalabilidade), o tempo de vida de um sistema pode ser estendido dependendo da sua facilidade de adaptação e instalação para diferentes tipos de softwares ou hardwares, além da sua capacidade de substituir outros softwares já existentes e de suportar acréscimo e decréscimo de cargas de trabalho quando necessário;
6. **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.
7. **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 decorridos 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.
8. **Robustez**, ao manter o sistema funcionando de forma aceitável mesmo em condições imprevisíveis, é um forte fator para que ele cumpra seu papel e se mantenha estável.
9. **Confiabilidade** (de Disponibilidade, Recuperabilidade, Tolerância a Falha e Maturidade), para que o sistema opere de forma confiável ele tem que está disponível quando necessário, para isso é importante que em caso de falhas os dados sejam rapidamente recuperados e que torne-se possível continuar operando conforme pretendido mesmo com falhas, além de ser necessário que tenha um alto grau de maturidade;
10. **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 outros contextos além do que foi planejado inicialmente;

11. **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;
12. **Usabilidade** (no sentido de Proteção Contra Erros do Usuário), um software que evita seus usuários de cometerem erros, pode influenciar um aumento na probabilidade dele ser utilizado por mais tempo;
13. **Eficácia**, ao cumprir o papel ao que foi estabelecido e alcançar os objetivos propostos, assegura a utilização do sistema;
14. **Eficiência**, o gasto eficiente dos recursos é um fator de grande importância para a sustentabilidade técnica, ao permitir que recursos como CPU e memória não sejam desperdiçados.

3.2.3.1 Interdependências - Dimensão Técnica

Tabela 6 – Interdependências - Dimensão Técnica

Requisito	Contribuições Indiretas
Adequação Funcional	(+) Testabilidade
Aprimoramento Funcional	(+) Instalabilidade
Confiabilidade	(+) Manutenibilidade
Disponibilidade	(+) Robustez, (+) Tolerância a Falhas e (+) Recuperabilidade
Modificabilidade	(+) Adaptabilidade, (+) Modularidade e (+) Analisabilidade
Confiança	(+) Segurança (Security)

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

[Adequação Funcional]: ao realizar procedimentos de testes no software é averiguado se as funcionalidades do sistema estão sendo atendidas, permitindo verificar sob circunstâncias específicas a existência de possíveis erros, falhas, interrupções, resultados incorretos, entre

outros. Quando o software é testado minuciosamente até que suas funções estejam funcionando como pretendido, a Adequação Funcional é favorecida.

[Aprimoramento Funcional]: de acordo como a instalação do software é realizada (Instalabilidade), podem ocorrer consequências na realização de suas funcionalidades (Aprimoramento Funcional) e como ele será operado (Operabilidade) (ISO/IEC 25010, 2023). Por exemplo, uma instalação feita de forma incorreta pelo usuário final pode gerar erros não previstos na utilização do sistema, dificultando seu controle e funcionalidade. É possível que uma instalação mal feita ocorra devido à falta de arquivos, arquivos corrompidos, incompatibilidade de hardware, software ou arquitetura, entre outros.

[Confiabilidade]: um sistema de software têm uma boa confiabilidade quando executa suas funcionalidades pelo tempo necessário livre de interrupções e falhas (ISO/IEC 25010, 2023). É fundamental que o sistema seja constantemente monitorado e modificado em caso de erros, pois ao mantermos o sistema funcionando corretamente, aumentamos a sua confiabilidade (MOREIRA et al., 2023), para isso torna-se importante que o sistema tenha uma boa capacidade de manutenção, com a finalidade de assegurar que tudo possa ser mantido operando corretamente.

[Disponibilidade]: em caso de falhas, a capacidade de recuperação do sistema de software favorece a disponibilidade do sistema, pois reestabelece a operação necessária de funcionamento após a falha (CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018). Outros fatores que influenciam a disponibilidade do sistema são a Tolerância a Falhas e a Robustez, que garantem o cumprimento das tarefas do sistema normalmente (MOREIRA et al., 2023). A Disponibilidade também pode ser entendida como a combinação de ausência de falhas, tolerância a falhas e capacidade de recuperação (ISO/IEC 25010, 2023).

[Modificabilidade]: a Modularidade e a Analisabilidade de um sistema de software podem influenciar sua Modificabilidade (ISO/IEC 25010, 2023). Ao modificar um componente existente de um sistema é de grande ajuda conseguir que sua alteração não cause impactos em outros componentes, evitando um trabalho maior com correções e um funcionamento incorreto, para isso é necessário que o sistema seja dividido em módulos. Também é conhecido que para um sistema ser adaptável é preciso que ele seja facilmente modificável (MILLER, 2009), assim a Adaptabilidade ajuda o sistema a ser modificado. Por fim, outro fator de importância para a Modificabilidade é a capacidade de identificar possíveis impactos causados por alterações e componentes que necessitam serem alterados.

[Confiança]: um ambiente seguro permite que os *stakeholders* concentrem-se em suas

atividades principais, sem a preocupação constante com possíveis falhas de segurança. Com isso, a segurança colabora para a confiança dos *stakeholders* (MOREIRA et al., 2023).

3.3 CARTÕES DE ESPECIFICAÇÃO

Os seguintes cartões de especificação têm por finalidade descrever detalhadamente cada um dos requisitos selecionados nesse estudo, para elucidar as motivações que os levaram a serem escolhidos. Cada cartão contém: uma descrição de seu significado, as dimensões a qual o requisito pertence, a fonte de origem de onde surgiu, e por fim, as suas decomposições e interdependências que estão relacionadas ao requisito.

Para melhorar o entendimento dos respectivos requisitos, a descrição de cada requisito, sempre que possível, foi baseada na ISO/IEC 25010 (ISO/IEC 25010, 2011), por já ser bastante conhecida pela comunidade.

3.3.1 Adequação Funcional

A Adequação Funcional é dividida em três requisitos secundários: facilitar a realização de tarefas e objetivos específicos (Aprimoramento Funcional); fornecer resultados corretos (Correção Funcional); e cumprir todas as tarefas solicitadas pelo usuário (Completeness Funcional). Têm relevância na dimensão econômica por diminuir as operações necessárias de manutenção, tendo em vista que tudo estará funcionando adequadamente e com fácil operação. Já a dimensão técnica se beneficia na utilização do sistema a longo prazo pelos usuários.

Nº	1.0
Nome	Adequação Funcional
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema fornece funções que atendem às necessidades declaradas e implícitas quando usado sob condições específicas” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	-
Decomposto em	Aprimoramento Funcional, Correção Funcional e Completude Funcional
Interdependências	(+) Testabilidade [Técnica]

A facilidade de realizar as tarefas por meio do sistema é um fator importante para certificar que ele seja utilizado e com isso gere lucro, visto que, ajudará na adesão do sistema e em sua utilidade a longo prazo. Um fator que pode influenciar a realização das tarefas de forma fácil é sua instalação, no qual uma instalação feita de forma incorreta pode gerar prejuízos para a utilização do sistema.

Nº	1.1
Nome	Aprimoramento Funcional
Descrição	“Grau em que as funções facilitam a realização de tarefas e objetivos específicos” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Adequação Funcional
Decomposto em	-
Interdependências	(+) Instalabilidade [Técnica]

O retorno de informações corretas e precisas pode ser a condição decisiva para adoção do

sistema pelo seu público alvo. Um sistema que retorna informações imprecisas ou duvidosas será dificilmente visto com bons olhos pelos seus usuários, diminuindo seu valor como produto e conseqüentemente diminuindo sua utilidade e sua demanda.

Nº	1.2
Nome	Correção Funcional
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema fornece os resultados corretos com o grau de precisão necessário” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Adequação Funcional
Decomposto em	-
Interdependências	-

É de grande importância que o sistema esteja completo, em relação a suas funcionalidades, para que possa competir no mercado e não perda espaço para seus concorrentes. Com isso o sistema torna-se mais relevante por longos períodos.

Nº	1.3
Nome	Compleitude Funcional
Descrição	“Grau em que o conjunto de funções cobre todas as tarefas especificadas e objetivos do usuário” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Adequação Funcional
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.2 Cobertura de Contexto

Para que o requisito principal de Cobertura de Contexto seja satisfeito por completo é necessário termos: um sistema que possa ser utilizado de maneira correta e satisfatória em todos os contextos para qual ele foi definido (Compleitude); e também ser capaz de ser utilizado em outros contextos diferentes os quais não foram definidos em sua concepção (Flexibilidade). Ambos os requisitos são importantes para a dimensão econômica e técnica, por confirmarem que o sistema está sendo usado em seus cenários específicos e possivelmente em outros cenários distintos, assegurando a utilização do sistema e com isso gerando lucro.

Nº	2.0
Nome	Cobertura de Contexto
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema pode ser usado com eficácia, eficiência, livre de riscos e satisfação em contextos específicos de uso e em contextos além daqueles inicialmente explicitamente identificados” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	-
Decomposto em	Completude e Flexibilidade
Interdependências	-

Viabilizar que o sistema opere corretamente em todos os contextos para o qual ele foi criado permite que o sistema alcance seu público alvo, como também seja utilizado para o domínio para o qual foi criado. Para satisfazer a Completude é necessário que o sistema alcance um funcionamento sem erros, de forma satisfatória, com eficácia e eficiência em todos os contextos definidos em seu planejamento. Assim, contribuindo para conquistar o mercado desejado e que o sistema seja aderido pelo seu público alvo.

Nº	2.1
Nome	Compleitude
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema pode ser usado com eficácia, eficiência, livre de riscos e satisfação em todos os contextos de uso especificados” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Cobertura de Contexto
Decomposto em	-
Interdependências	-

A flexibilização da utilização do sistema para domínios além dos definidos inicialmente é um atrativo para aumentar o valor do produto e prolongar sua vida útil. É de interesse da dimensão econômica que o produto de software possa alcançar o maior número de usuários possíveis para gerar renda e aumentar o seu valor como produto. Já a dimensão técnica se beneficia por prologar a vida útil do software, por meio de outros contextos de utilização.

Nº	2.2
Nome	Flexibilidade
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema pode ser usado com eficácia, eficiência, livre de riscos e satisfação em contextos além daqueles inicialmente especificados nos requisitos” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Cobertura de Contexto
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.3 Compatibilidade

A Compatibilidade permite uma maior troca de informações entre sistemas de software, favorecendo os usuários do sistema, sendo de interesse da dimensão social. Em vista da dimensão técnica, a Compatibilidade é importante porque o compartilhamento de recursos e do ambiente permite que o sistema seja utilizado por mais tempo (FERNANDEZ; LAGO, 2019) sem a necessidade de grandes mudanças ou adaptações para troca de informações com outros sistemas. A Compatibilidade inclui: Interoperabilidade (troca de informações entre sistemas diferentes) e Coexistência (compartilhamento do mesmo ambiente e recursos por sistemas diferentes).

Nº	3.0
Nome	Compatibilidade
Descrição	“Grau em que um produto, sistema ou componente pode trocar informações com outros produtos, sistemas ou componentes e/ou executar as funções exigidas, enquanto compartilha o mesmo ambiente de hardware ou software” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	-
Decomposto em	Interoperabilidade e Coexistência
Interdependências	-

A troca de informações entre sistemas melhora o conforto do usuário, por evitar a necessidade de cadastrar as mesmas informações repetitivamente, evitando retrabalhos tanto para o usuário quanto para o sistema. Além de agilizar os processos necessários para realização das funcionalidades dos sistemas envolvidos, no qual pode ser mais vantajoso utilizar as informações de outro sistema em funcionamento do que realizar um novo cadastramento ou um novo *upload* de arquivos.

Nº	3.1
Nome	Interoperabilidade
Descrição	“Grau em que dois ou mais sistemas, produtos ou componentes podem trocar informações e utilizar as informações que foram trocadas” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023)
Decomposto de	Compatibilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

O trabalho em harmonia entre dois ou mais sistemas em um mesmo ambiente, com troca de informações e recursos, ajuda a acelerar o cumprimento de tarefas desejadas, onde se pode utilizar ambos os sistemas sem prejudicar ou interferir um no outro. A Coexistência melhora a utilização do sistema para os usuários e permite que diversos sistemas possam ser utilizados no mesmo ambiente sem ocorrer qualquer impacto entre eles.

Nº	3.2
Nome	Coexistência
Descrição	“Grau em que um produto pode desempenhar as funções exigidas de forma eficiente, ao mesmo tempo que compartilha um ambiente e recursos comuns com outros produtos, sem impacto prejudicial em qualquer outro produto” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Compatibilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.4 Confiabilidade

A efetuação das funções do sistema de forma confiável coopera para a operação do sistema, beneficiando a dimensão técnica, pois permite que o software execute suas funções específicas sob condições específicas por um longo período, influenciando sua durabilidade (CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018). Também favorece a dimensão econômica e social, porque quanto mais confiável o sistema for, mais os usuários irão aderir seu uso, gerando renda e atendendo as necessidades de seus utilizadores. Para que a Confiabilidade seja alcançada é necessário que os seguintes requisitos sejam satisfeitos: Disponibilidade (o sistema é utilizável quando necessário), Recuperabilidade (recuperação de dos dados e do sistema em caso de falhas), Tolerância a Falhas (funcionamento devido mesmo com a existência de algum problema) e Maturidade (atender as necessidades em um estado normal).

Nº	4.0
Nome	Confiabilidade
Descrição	“Grau em que um sistema, produto ou componente executa funções específicas sob condições específicas por um período especificado” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica, Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; PENZENSTADLER, 2014; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	-
Decomposto em	Disponibilidade, Recuperabilidade, Tolerância a Falhas e Maturidade
Interdependências	(+) Manutenibilidade [Econômica e Técnica]

A disponibilidade do sistema é de grande importância para que os objetivos dos usuários sejam alcançados quando necessário. Um sistema que se encontra fora de operação não consegue gerar lucro e pode cair em desuso caso aconteça recorrentemente. Para melhorar a disponibilidade do sistema é favorável que o sistema seja robusto e tenha um funcionamento aceitável mesmo quando ocorre alguma falha, também é de seu interesse que o sistema tenha um grau de recuperabilidade bom para que o sistema volte ao seu funcionamento rapidamente.

Nº	4.1
Nome	Disponibilidade
Descrição	“Grau em que um sistema, produto ou componente está operacional e acessível quando necessário para uso” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica, Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; PENZENSTADLER, 2014; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Confiabilidade
Decomposto em	-
Interdependências	(+) Robustez [Técnica], (+) Tolerância a Falhas [Técnica] e (+) Recuperabilidade [Econômica e Técnica]

Quando ocorre uma interferência no sistema que compromete sua utilização, é de enorme valor a sua capacidade de recuperação, para retornar o sistema ao seu funcionamento normal e recuperar os dados afetados pela interrupção. Um sistema capaz de se recuperar em casos de falhas auxilia o sistema a retornar seu estado de disponibilidade, ajudando a retomada de sua função.

Nº	4.2
Nome	Recuperabilidade
Descrição	“Grau em que, em caso de interrupção ou falha, um produto ou sistema pode recuperar os dados diretamente afetados e restabelecer o estado desejado do sistema” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Confiabilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

A Tolerância a Falhas é outro fator que também favorece a disponibilidade do sistema. O sistema está funcionando e disponível mesmo quando ocorre algum erro é desejável para sustentabilidade técnica para alcançar uma maior confiabilidade no sistema.

Nº	4.3
Nome	Tolerância a Falhas
Descrição	“Grau em que um sistema, produto ou componente funciona conforme pretendido, apesar da presença de falhas de hardware ou software” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Confiabilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

Um sistema com maturidade é aquele que atende as tarefas que lhe foram atribuídas de forma confiável em operação normal. A Maturidade contribui para o aumento da Confiabilidade no sistema de software, pois ela é evidenciada pela sua capacidade de operar consistentemente conforme esperado.

Nº	4.4
Nome	Maturidade
Descrição	“Grau em que um sistema, produto ou componente atende às necessidades de confiabilidade sob operação normal” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Confiabilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.5 Desempenho

O nível de desempenho que um sistema consegue alcançar é um fator importante para se ter um melhor funcionamento, permitindo que suas funções sejam executadas de forma eficiente e a sua utilização dure por mais tempo (FERNANDEZ; LAGO, 2019) contribuindo para a dimensão técnica. O requisito de Desempenho é alcançado quando: o sistema suporta diversos parâmetros diferentes (Capacidade); o tempo de resposta e processamento das funções é satisfatório (Comportamento Temporal); e os recursos disponíveis são usados de forma aceitável (Utilização de Recursos).

Esse requisito foi encontrado com a nomenclatura de “Eficiência de Desempenho”, entretanto esse termo foi modificado para somente “Desempenho” para evitar possíveis confusões com o requisito de “Eficiência” (Seção 3.3.7).

Nº	5.0
Nome	Desempenho
Descrição	“Desempenho relativo à quantidade de recursos usados sob condições declaradas” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	-
Decomposto em	Capacidade, Comportamento Temporal e Utilização de Recursos
Interdependências	

A quantidade de parâmetros suportado pelo sistema define os limites de demandas que o software pode aguentar enquanto mantém seu funcionamento corretamente. Esses parâmetros podem ser a quantidade máxima de usuários suportados simultaneamente, tamanho do banco de dados, largura de banda, entre outros. Quanto maior a capacidade do software, maior será a quantidade de demandas que ele pode lidar.

Nº	5.1
Nome	Capacidade
Descrição	“Grau em que os limites máximos de um parâmetro de produto ou sistema atendem aos requisitos” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Desempenho
Decomposto em	-
Interdependências	-

É crucial que o sistema funcione dentro dos limites de tempo aceitáveis e responda de

maneira eficiente às solicitações dos usuários ou de outros sistemas, esses parâmetros definem o quão hábil o sistema consegue ser e influenciam em sua qualidade. O Comportamento Temporal é importante para proporcionar uma experiência de usuário satisfatória.

Nº	5.2
Nome	Comportamento Temporal
Descrição	“Grau em que os tempos de resposta e processamento e as taxas de rendimento de um produto ou sistema, ao executar suas funções, atendem aos requisitos” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Desempenho
Decomposto em	-
Interdependências	-

A utilização de recursos eficientemente é benéfico tanto para a sustentabilidade técnica quanto para a sustentabilidade ambiental, diminuindo a quantidade de desperdícios e assegurando que os recursos estão sendo usados devidamente. A gestão eficaz de recursos como CPU, memória e armazenamento evita gargalos que podem levar a interrupções do sistema.

Nº	5.3
Nome	Utilização de Recursos
Descrição	“Grau em que as quantidades e tipos de recursos utilizados por um produto ou sistema, ao desempenhar suas funções, atendem aos requisitos” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Desempenho
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.6 Eficácia

Alcançar os objetivos propostos pelo sistema de forma precisa favorece ambas as 3 dimensões de sustentabilidade analisadas. Em termos da dimensão econômica, a eficácia poupa recursos e custos para resolução de problemas, já que tudo estará funcionando corretamente. Na dimensão social, a concretização de todas as tarefas contribui para o bem-estar social, pois as necessidades dos usuários estão sendo atendidas. Por fim, na dimensão técnica ela ajuda na utilização a longo prazo do sistema.

Nº	6.0
Nome	Eficácia
Descrição	“Precisão e integridade com que os usuários alcançam objetivos específicos” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica, Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	-
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.7 Eficiência

Assim como no requisito de Eficácia, a Eficiência também contribui para as 3 dimensões de sustentabilidade abordadas. Evita gastos com possíveis erros ou falhas, poupando recursos e esforço, contribuindo assim para dimensão econômica. Tem valor para dimensão social por permitir que as metas dos usuários sejam alcançadas sem grandes desperdícios ou problemas. E para dimensão técnica por possibilitar o sistema atingir as metas para o qual foi desenvolvido sem gastos de recursos excessivos.

Nº	7.0
Nome	Eficiência
Descrição	“Recursos gastos em relação à precisão e integridade com que os usuários atingem as metas” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica, Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; PENZENSTADLER, 2014; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	-
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.8 Extensibilidade

A Extensibilidade é um tema de grande valor para a dimensão técnica (BETZ et al., 2024), pois permite que o sistema de software cresça a medida que novas requisições surgem durante seu ciclo de vida. Por meio de uma extensão é possível adicionar novas funcionalidades que não foram ponderadas durante o desenvolvimento do software.

Nº	8.0
Nome	Extensibilidade
Descrição	“Uma medida da capacidade do software de ser estendido e do nível de esforço necessário para implementar a extensão” (VENTERS et al., 2014)
Dimensões	Técnica
Fonte de Origem	(VENTERS et al., 2014; VENTERS et al., 2023; BETZ et al., 2024)
Decomposto de	-
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.9 Justiça

A medida que os sistemas de software se desenvolvem e são utilizados cada vez mais para realizar tomadas de decisões, se torna necessário a inclusão e diversidade do software, de modo que não ocorra discriminação ou preconceito por qualquer diferença de religião, gênero, cor, orientação sexual, etc. Portanto, a justiça é um fator importante que o sistema deve contemplar em sua utilização (MOREIRA et al., 2023) e assim contribuir para sustentabilidade social. O requisito de Justiça não têm nenhum requisito como refinamento.

Nº	9.0
Nome	Justiça
Descrição	“Qualidade de tratar as pessoas de forma igual ou razoável”
Dimensões	Social
Fonte de Origem	(WINKLER, 2018; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	-
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.10 Manutenibilidade

Recorrentemente a sustentabilidade de software vem sendo interligada com a capacidade de manutenção do sistema, onde é tratada como aspecto principal na construção de sistemas sustentáveis (COHEN et al., 2021) e é considerada como um tema de grande importância para a dimensão técnica (BETZ et al., 2024). Para que a Manutenibilidade seja satisfeita é necessário que o sistema consiga: ser modificado com facilidade sem causar nenhuma perda de qualidade (Modificabilidade); capacidade de reutilizar o sistema como um ativo (Reutilização); a modificação de um componente impactar minimamente outros componentes (Modularidade); ser possível testar eficazmente o sistema (Testabilidade); e a viabilidade de analisar falhas, erros e possíveis impactos decorridos de modificações (Analisabilidade).

Nº	10.0
Nome	Manutenibilidade
Descrição	“Grau de eficácia e eficiência com que um produto ou sistema pode ser modificado pelos mantenedores pretendidos” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; PENZENSTADLER, 2014; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; COHEN et al., 2021; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023; BETZ et al., 2024)
Decomposto de	-
Decomposto em	Modificabilidade, Reutilização, Modularidade, Testabilidade e Analisabilidade
Interdependências	-

A Modificabilidade permite que o sistema se adapte a demandas futuras e possa aderir um grau de evolução necessário para funcionar a longo prazo. Um sistema modificável consegue se manter atualizado as tendências de mercado (dimensão econômica) e evoluir ou corrigir possíveis problemas existentes (dimensão técnica).

A Modularidade e a Analisabilidade têm influência sob a Modificabilidade (ISO/IEC 25010, 2023). Um sistema desenvolvido em módulos terá uma maior facilidade ao realizar alterações, porque a mudança de um componente não interfere em outro. Já um sistema com analisabilidade colabora para que seja encontrado componentes que necessitam de modificações e quais efeitos essa mudança acarretará em outros componentes. Por fim, um sistema modificável é aquele que é adaptável (MILLER, 2009), relevando que a Adaptabilidade facilita a Modificabilidade.

Nº	10.1
Nome	Modificabilidade
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema pode ser modificado de forma eficaz e eficiente sem introduzir defeitos ou degradar a qualidade do produto existente” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023)
Decomposto de	Manutenibilidade
Decomposto em	-
Interdependências	(+) Adaptabilidade [Técnica], (+) Modularidade [Técnica] e (+) Analisabilidade [Técnica]

Permitir que recursos, componentes ou até o sistema por inteiro seja reutilizado é vantajoso para economizar capital, diminuindo esforços e investimentos (dimensão econômica). Produtos de software capazes de serem reaproveitados na construção de outros sistemas é uma vantagem valorosa, não somente para diminuir custos, mas também para ajudarem no desenvolvimento de novos sistemas (técnica).

Nº	10.2
Nome	Reutilização
Descrição	“Grau em que um ativo pode ser usado em mais de um sistema ou na construção de outros ativos” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023)
Decomposto de	Manutenibilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

Um sistema desenvolvido separado por módulos, onde cada módulo comporta uma parte do sistema ou funcionalidade, facilita possíveis futuras modificações, assim como também ajuda na organização e construção do sistema. A Modularidade é um aspecto importante para auxiliar novas atualizações ou correções no sistema de software.

Nº	10.3
Nome	Modularidade
Descrição	“Grau em que um sistema ou programa de computador é composto de componentes discretos, de modo que uma alteração em um componente tenha impacto mínimo em outros componentes” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023)
Decomposto de	Manutenibilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

A Testabilidade de um sistema permite averiguar se os componentes do sistema estão funcionando corretamente, bem como verificar se a operação de suas funções retorna resultados corretos sem presença de nenhuma falha ou interrupção. Por meio dos testes são identificados erros, falhas, modificações necessárias, entre outros. A realização de teste contribui para a Adequação Funcional ao examinar se as funções do sistema estão funcionando corretamente em determinadas circunstâncias.

Nº	10.4
Nome	Testabilidade
Descrição	“Grau de eficácia e eficiência com o qual os critérios de teste podem ser estabelecidos para um sistema, produto ou componente e os testes podem ser realizados para determinar se esses critérios foram atendidos” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023)
Decomposto de	Manutenibilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

Quando se é exigido a efetuação de alguma modificação no sistema deve-se analisar prováveis efeitos que essa modificação terá nas demais partes do sistema, desse modo é evitado que alguma função tenha seu funcionamento prejudicado ou que algum erro ocorra. Por meio da Analisabilidade também é possível identificar melhorias e correções que precisão serem aplicadas.

Nº	10.5
Nome	Analisabilidade
Descrição	“Grau de eficácia e eficiência com o qual é possível avaliar o impacto sobre um produto ou sistema de uma alteração pretendida em uma, ou mais de suas peças, ou diagnosticar um produto quanto a deficiências, ou causas de falhas, ou identificar peças a serem modificadas” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023)
Decomposto de	Manutenibilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.11 Mitigação de riscos

As dimensões econômica e social se favorecem grandemente do requisito de Mitigação de Riscos, pois permite a diminuição de potenciais fatores que possam prejudicar a sociedade, conseqüentemente, são causados menos despesas e gastos para corrigir algum malefício decorrido de algum risco ou perigo. O requisito de Mitigação de Riscos contém 4 requisitos secundários como refinamentos: Mitigação de Riscos Econômicos (diminuição de problemas que prejudiquem a situação financeiros), Mitigação de Riscos Ambientais (redução de perturbações ao meio ambiente), Mitigação de Riscos de Saúde e Segurança (amenizar impactos negativos para os usuários do sistema) e Legislação (o sistema está de acordo com as leis vigentes).

Nº	11.0
Nome	Mitigação de Riscos
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema mitiga o risco potencial para a situação econômica, a vida humana, a saúde ou o meio ambiente” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Social
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	-
Decomposto em	Mitigação de Riscos Econômicos, Mitigação de Riscos Ambientais, Mitigação de Riscos de Saúde e Segurança e Legislação
Interdependências	-

O requisito de mitigação de riscos econômicos tem seu valor para dimensão econômica por evitar grandes gastos de recursos e despesas excessivas. Evitando quaisquer contratempos que gerem prejuízos financeiros e diminuam o valor do produto ou do capital. Para isso é preciso que a empresa ou qualquer entidade proprietária do produto crie medidas preventivas para que o produto não perca valor ou cause perdas financeiras, como valor monetário, capital, reputação, recursos, entre outros.

Nº	11.1
Nome	Mitigação de Riscos Econômicos
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema mitiga o risco potencial para a situação financeira, operação eficiente, propriedade comercial, reputação ou outros recursos nos contextos de uso pretendidos” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Mitigação de riscos
Decomposto em	-
Interdependências	-

Ao prevenir danos ao meio ambiente também é evitado qualquer prejuízo que possa afetar a sociedade ou comunidade que tem ligação a esse ambiente. É de extrema relevância que o sistema desenvolvido não traga malefícios para o meio ambiente ou propriedade, com a finalidade de manter a confiança de seus usuários. Uma forma de procurar melhores medidas para que o meio ambiente seja protegido é com a criação de leis e regulamentos que obriguem que as diretrizes de preservação do meio ambiente sejam seguidas.

Nº	11.2
Nome	Mitigação de Riscos Ambientais
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema mitiga o risco potencial à propriedade, ou ao meio ambiente nos contextos de uso pretendidos” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Mitigação de riscos
Decomposto em	-
Interdependências	(+) Legislação [Social]

Outro elemento de grande importância para a preservação das condições ideais de utilização do sistema pelos usuários, é a redução de problemas que podem prejudicar a saúde ou a segurança dos usuários. Qualquer sistema que cause situações de insegurança, colocando em risco seus usuários, será rejeitado rapidamente. Para isso é essencial que as organizações sigam as leis vigentes e tenham medidas preventivas preparadas para evitar qualquer situação que coloque a saúde e segurança do seu público em risco.

Nº	11.3
Nome	Mitigação de Riscos de Saúde e Segurança
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema mitiga o risco potencial para as pessoas nos contextos de uso pretendidos” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Mitigação de riscos
Decomposto em	-
Interdependências	(+) Legislação [Social]

Os direitos da sociedade são protegidos quando as leis estabelecidas são seguidas, essas leis asseguram a sustentabilidade social (PENZENSTADLER, 2014), por isso o requisito de legislação tem grande contribuição para dimensão social. Por meio da legislação também é estabelecido regulamentos ambientais que obrigam as organizações a seguir e incorporar diretrizes de sustentabilidade.

Nº	11.4
Nome	Legislação
Descrição	Conformidade com as leis e regulamentos
Dimensões	Social
Fonte de Origem	(PENZENSTADLER, 2014; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Mitigação de riscos
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.12 Portabilidade

A sustentabilidade econômica e técnica é apoiada pela portabilidade devido à possibilidade do sistema desenvolvido ser transferido a para outro software, hardware ou ambiente, evitando a obsolescência do sistema, aumentando sua vida útil e utilidade do sistema. Para satisfazer o requisito de Portabilidade é requerido que o sistema seja: adaptável para outro software ou hardware (Adaptabilidade); agüente cargas de trabalho crescentes ou decrescente (Escalabilidade); possível ser instalado em diferentes ambientes (Instalabilidade); e aptidão para ser substituído por outro sistema de mesma finalidade (Substitutibilidade).

Nº	12.0
Nome	Portabilidade
.5	“Grau de eficácia e eficiência com que um sistema, produto ou componente pode ser transferido de um hardware, software ou outro ambiente operacional, ou de uso para outro” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; PENZENSTADLER, 2014; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023)
Decomposto de	-
Decomposto em	Adaptabilidade, Escalabilidade, Instalabilidade e Substitutibilidade
Interdependências	-

A Adaptabilidade é outro tema de grande relevância para a sustentabilidade técnica (BETZ et al., 2024), por meio dela o sistema desenvolvido pode ser adaptado para diferentes hardware, softwares ou outros ambientes. Essa adaptação é importante para a abrangência do sistema e sua evolução, como também para auxiliar a Modificabilidade.

Nº	12.1
Nome	Adaptabilidade
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema pode ser adaptado de forma eficaz e eficiente para hardware, software ou outros ambientes operacionais ou de uso diferentes, ou em evolução” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; BETZ et al., 2024)
Decomposto de	Portabilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

A Escalabilidade também é relatada como um requisito de importância para dimensão

técnica (BETZ et al., 2024). Um sistema escalável pode atender cargas de trabalho que estão em constante crescimento ou diminuição, suportando a variabilidade de cargas de trabalho através da adaptação de sua capacidade. Com esse requisito é possível suportar o crescimento do software durante seu ciclo de vida, permitindo uma melhor gestão de recursos e garantindo que o desempenho do sistema permaneça estável mesmo com o aumento da demanda.

Nº	12.2
Nome	Escalabilidade
Descrição	“Grau em que um produto pode lidar com cargas de trabalho crescentes ou decrescentes, ou adaptar sua capacidade para lidar com a variabilidade.” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; FERNANDEZ; LAGO, 2019; VENTERS et al., 2023; BETZ et al., 2024)
Decomposto de	Portabilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

Uma instalação feita seguindo o procedimento correto evita problemas futuros de incompatibilidade, falta de arquivos, funcionamento, entre outros. Para isso o ideal é que o sistema seja instalado por fontes confiáveis e pessoas qualificadas, seguindo as instruções recomendadas e verificando a compatibilidade de software, hardware e requisitos mínimos para funcionamento do sistema. Uma instalação bem-feita minimiza riscos e contribui para a longevidade e eficiência do sistema, garantindo que ele desempenhe suas funções de forma otimizada.

Nº	12.3
Nome	Instalabilidade
Descrição	“Grau de eficácia e eficiência com que um produto ou sistema pode ser instalado e/ou desinstalado com sucesso em um ambiente específico” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Portabilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

A capacidade de substituição de um sistema de software por outro, com a mesma finalidade, diminui a chance da ocorrência de dependências. Também têm importância para a atualização de versões do sistema, com isso beneficiando a evolução do sistema. Uma forma de permitir a substitutibilidade é através da padronização do formato dos arquivos (ISO/IEC 25010, 2023).

Nº	12.4
Nome	Substitutibilidade
Descrição	“Grau em que um produto pode substituir outro produto de software especificado para a mesma finalidade no mesmo ambiente” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Portabilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.13 Robustez

Outro pilar interligado com a sustentabilidade de software é a Robustez, tratada como pilar fundamental na construção de sistemas sustentáveis (COHEN et al., 2021). Um sistema robusto consegue continuar seu funcionamento de forma razoável mesmo na ocorrência de situações não previstas, permitindo que o sistema continue disponível para ser utilizado e servir a sua função.

Nº	13.0
Nome	Robustez
Descrição	“Refere-se à capacidade do sistema de se comportar de maneira aceitável em situações inesperadas” (FERNANDEZ; LAGO, 2019)
Dimensões	Técnica
Fonte de Origem	(FERNANDEZ; LAGO, 2019; COHEN et al., 2021; VENTERS et al., 2023)
Decomposto de	-
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.14 Satisfação

A Satisfação proporciona contribuições para todas as dimensões analisadas (econômica, social e técnica), pois potencializa a adesão do sistema, permitindo que seja utilizado por mais pessoas, gerando lucro e satisfazendo as demandas de seus usuários. Um sistema que proporciona satisfação precisa que: seus stakeholders tenham a confiança que o sistema funcionará como foi planejado (Confiança) e estejam satisfeitos com sua utilização, seus resultados e as consequências do uso (Utilidade).

Nº	14.0
Nome	Satisfação
Descrição	“Grau em que as necessidades do usuário são satisfeitas quando um produto ou sistema é usado em um contexto de uso específico” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica, Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	-
Decomposto em	Confiança e Utilidade
Interdependências	-

Em Betz et al. (2024) o tema de confiança foi identificado como um dos mais importantes para a sustentabilidade social. A confiança atribuída ao software têm impacto diretamente na adoção e no uso do software por parte dos usuários finais. Quando os usuários confiam no software, eles estão mais dispostos a integrá-lo em suas atividades diárias, sabendo que ele funcionará de maneira previsível e confiável. Para que um sistema seja considerado confiável, é fundamental que ele seja seguro.

A confiança também influencia a reputação da organização responsável pelo software. Um histórico de software confiável e de alta qualidade pode estabelecer uma excelente reputação para organização, atraindo novos clientes e oportunidades de negócios. Por outro lado, falhas repetidas ou problemas de confiabilidade podem rapidamente minar a confiança e prejudicar a reputação da organização, levando à perda de clientes e receitas.

Nº	14.1
Nome	Confiança
Descrição	“Grau em que um usuário ou outra parte interessada tem confiança de que um produto ou sistema se comportará conforme pretendido” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica, Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; BETZ et al., 2024)
Decomposto de	Satisfação
Decomposto em	-
Interdependências	(+) Segurança (Security) [Social e Técnica]

Um sistema de software é considerado útil quando seus usuários estão satisfeitos com a realização de seus objetivos por meio do sistema. Um software útil não só facilita o cumprimento de tarefas, mas também contribui para a produtividade e satisfação dos usuários, garantindo sua adoção e uso contínuo. Sendo assim vantajoso para as dimensões de sustentabilidade econômica, social e técnica.

Nº	14.2
Nome	Utilidade
Descrição	“Grau em que um usuário está satisfeito com a realização percebida de metas pragmáticas, incluindo os resultados do uso e as consequências do uso” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica, Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Satisfação
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.15 Segurança (Security)

A Segurança por sua vez, além de ser um requisito de grande importante para os sistemas de software modernos, também tem grande valor para a sustentabilidade técnica (BETZ et al., 2024). Além disso, é um fator de extrema necessidade para proteção dos usuários, por isso é um grande contribuinte para dimensão social. Os refinamentos do requisito de Segurança são: Responsabilidade (as ações são atribuídas exclusivamente a quem as realizou), Autenticidade (comprovar a identidade de um assunto ou recurso solicitado), Confidencialidade (os dados somente serão acessados por aqueles que estão autorizados), Integridade (impossibilita o acesso ou modificação de dados que não foram autorizados) e Sem Repúdio (provar a ocorrência de ações e eventos para que eles não sejam rejeitados).

Nº	15.0
Nome	Segurança (Security)
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema protege informações e dados para que pessoas ou outros produtos ou sistemas tenham o grau de acesso aos dados apropriado aos seus tipos e níveis de autorização” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; BETZ et al., 2024)
Decomposto de	-
Decomposto em	Responsabilidade, Autenticidade, Confidencialidade, Integridade e Sem Repúdio
Interdependências	-

É de extrema importância que todas as operações realizadas no sistema sejam atribuídas a entidade que as realizou, facilitando o seu rastreamento. Esse rastreamento contribui para a transparência e responsabilidade dentro do sistema, permitindo uma auditoria eficaz das atividades do sistema. Isso significa que, em caso de irregularidades, erros ou falhas, é possível identificar rapidamente quem realizou determinada ação e em que momento.

Nº	15.1
Nome	Responsabilidade
Descrição	“Grau em que as ações de uma entidade podem ser atribuídas exclusivamente à entidade” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Segurança
Decomposto em	-
Interdependências	(+) Autenticidade [Social] e (-) Confidencialidade [Social]

Por meio da Autenticidade são identificados os recursos solicitados para serão utilizados, assim como também para comprovar que todas as entidades (usuários, dispositivos, processos) ligadas ao sistema são verdadeiros. A Autenticidade pode servir como ferramenta para facilitar a Responsabilidade do sistema, permitindo identificar as ações realizadas e quem as realizou. Como também ajudar a manter a integridade do sistema ao identificar acessos não autorizados.

Nº	15.2
Nome	Autenticidade
Descrição	“Grau em que a identidade de um assunto ou recurso pode ser provada como aquela reivindicada” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Segurança
Decomposto em	-
Interdependências	-

Outro requisito fundamental para Segurança é a Confidencialidade, o qual evita que in-

formações sensíveis sejam acessadas ou divulgadas para partes não autorizadas, garantindo a proteção da privacidade de seus usuários e dos dados críticos do próprio sistema. Entretanto, dados altamente protegidos e inacessíveis dificultam a rastreabilidade, afetando assim a responsabilidade do sistema.

Nº	15.3
Nome	Confidencialidade
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema garante que os dados sejam acessíveis apenas àqueles autorizados a ter acesso” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Segurança
Decomposto em	-
Interdependências	-

Para que um sistema tenha integridade é essencial que não ocorra nenhum acesso ou modificação não autorizados. Por intermédio da autenticação das entidades envolvidas no sistema é possível impedir que entidades maliciosas realizem ações não permitidas, que comprometam a segurança do sistema. A efetuação de uma modificação que não foi aprovada pode pôr em risco todo o sistema de software, como também afetar sua operação.

Nº	15.4
Nome	Integridade
Descrição	“Grau em que um sistema, produto ou componente impede o acesso não autorizado, ou a modificação de programas, ou dados de computador” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Segurança
Decomposto em	-
Interdependências	(+) Autenticidade [Social]

Na execução das ações do sistema é essencial garantir formas de averiguar que aquela ação foi realizada e quem a realizou, para evitar que futuramente essas ações possam ser negadas por quem as executou, além de comprovar a sua veracidade. Em resumo, para não ocorrer repúdio, deve-se assegurar que a entidade que realizou uma ação não possa negar posteriormente ter realizado essa ação, proporcionando uma camada adicional de segurança.

Nº	15.5
Nome	Sem Repúdio
Descrição	“Grau em que se pode provar que ações ou eventos ocorreram, de modo que os eventos ou ações não possam ser repudiados posteriormente” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Segurança
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.3.16 Usabilidade

A Usabilidade é considerada como um dos temas de mais importância para a dimensão técnica (BETZ et al., 2024). Além disso, também têm relevância para a dimensão econômica e social, pois facilita a utilização do sistema pelos seus usuários. A satisfação do requisito de Usabilidade é alcançado quando: os usuários conseguem reconhecer se o sistema é pertinente para as suas necessidades (Reconhecimento de Adequação); o sistema é acessível para pessoas com características distintas (Acessibilidade); a operação do sistema é de fácil aprendizado (Aprendizagem); o controle do sistema é facilitado por meio de seus requisitos (Operabilidade); e o evita que seus usuários cometam erros (Proteção Contra Erros do Usuário).

Nº	16.0
Nome	Usabilidade
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema pode ser usado por usuários específicos para atingir objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica, Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; PENZENSTADLER, 2014; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023; BETZ et al., 2024)
Decomposto de	-
Decomposto em	Reconhecimento de Adequação, Acessibilidade, Aprendizagem, Operabilidade e Proteção Contra Erros do Usuário
Interdependências	-

Quando os usuários percebem que o sistema está alinhado com suas necessidades e expectativas, eles se sentem mais inclinados a adotá-lo e utilizá-lo, contribuindo para sua aceitação e sucesso. Para esse propósito é preciso que o sistema seja apresentado de forma clara e sua finalidade possa ser reconhecida sem muito esforço.

Nº	16.1
Nome	Reconhecimento de Adequação
Descrição	“Grau em que os usuários podem reconhecer se um produto ou sistema é apropriado para suas necessidades” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Usabilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

Um sistema com acessibilidade proporciona que mais usuários de diferentes características e capacidades possam utilizar o sistema. Ao alcançar diversas pessoas diferentes é aumentado a diversidade de seu público, colaborando para melhorar a sustentabilidade social e permitir que pessoas com limitações também sejam contempladas. A Acessibilidade não apenas promove a inclusão, mas também amplia o alcance do sistema, tornando-o mais útil e valioso para um público mais amplo.

Nº	16.2
Nome	Acessibilidade
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema pode ser usado por pessoas com a mais ampla gama de características e capacidades para atingir um objetivo específico em um contexto de uso específico” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Decomposto de	Usabilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

A facilidade de aprender a utilizar o sistema de software pode ser uma condição decisiva para determinar se ele será adotado ou não. Quanto mais o sistema for fácil de operar, mais amplo será seu público, pois sistemas muito complexos não são atrativos para um público mais leigo. A simplicidade e a intuitividade do design do sistema são fatores-chave para atrair e reter usuários.

Nº	16.3
Nome	Aprendizagem
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema pode ser usado por usuários específicos para atingir objetivos específicos de aprender a usar o produto ou sistema com eficácia, eficiência, livre de riscos e satisfação em um contexto específico de uso” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019)
Decomposto de	Usabilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

A facilidade de utilizar o sistema é um forte motivo que os usuários se sintam motivados a empregá-lo. Um sistema de fácil utilização proporciona que seus usuários alcancem seus objetivos mais facilmente sem causar frustrações e confusões. Quando um sistema é intuitivo e fácil de operar, ele se torna mais acessível e vantajoso para seus usuários.

Nº	16.4
Nome	Operabilidade
Descrição	“Grau em que um produto ou sistema possui requisitos que facilitam sua operação e controle” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Social
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019)
Decomposto de	Usabilidade
Decomposto em	-
Interdependências	(+) Instabilidade [Técnica]

Ao prevenir que o usuário cause algum erro é evitado prováveis frustrações decorridos desse erro, garantindo uma experiência mais positiva e incentivando a utilização do sistema. A ocorrência de erros gerados pelo usuário evidência a demanda de proceder com modificações para corrigir esse problema, pois um sistema que causa erros diminui a aceitação do seu público.

Nº	16.5
Nome	Proteção Contra Erros do Usuário
Descrição	“Grau em que um sistema protege os usuários contra cometer erros” (ISO/IEC 25010, 2011)
Dimensões	Econômica, Social e Técnica
Fonte de Origem	(ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019)
Decomposto de	Usabilidade
Decomposto em	-
Interdependências	-

3.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado o catálogo de requisitos NFR4SUSTAIN, com seus principais requisitos e relacionamentos. Na seção 3.1 foi detalhado o processo realizado para construção do catálogo. Na seção 3.2 foi apresentado o catálogo desenvolvido, através de em conjunto de SIGs de cada dimensão de sustentabilidade. Por último, na seção 3.3 foram definidos os cartões de especificação de cada um dos requisitos presentes no catálogo.

3.4.1 Discussão Sobre as Dimensões de Sustentabilidade

Ao analisar a literatura sobre as respectivas dimensões escolhidas para essa pesquisa, algumas informações interessantes foram encontrados, tais como: a correlação entre longevidade e sustentabilidade de software; a possibilidade da utilização de valores humanos para a dimensão social; e por fim, a falta de interesse dos pesquisadores na dimensão econômica.

Entre as dimensões de sustentabilidade, a dimensão técnica é bastante apoiada pelos requisitos tradicionais de software (PENZENSTADLER, 2014). Muitos dos requisitos presentes na ISO/IEC 25010 (ISO/IEC 25010, 2011) tem relevância para a sustentabilidade de software. A qual, é recorrentemente associada a “longevidade” e “capacidade de manutenção” (manutibilidade), sendo evidenciados como sua principal preocupação e como fatores importantes para a sua compreensão (VENTERS et al., 2014).

A dimensão social da sustentabilidade está inteiramente preocupada com o bem-estar da sociedade, por isso é importante levar em consideração requisitos relacionados aos valores humanos, como o requisito de Justiça (MOREIRA et al., 2023). A utilização de Valores Humanos na sustentabilidade é um tópico pouco abordado na área de ER, pois de acordo com o mapeamento sistemático de Bambazek, Groher e Seyff (2023) somente 1 dos artigos selecionados abordou o tema de valores humanos em conjunto da sustentabilidade. Ao considerar os valores humanos como relevantes para sustentabilidade social é possível ir além dos requisitos tradicionais de software (WINKLER, 2018).

Embora a dimensão econômica tenha grande importância para os desenvolvedores e stakeholders, ainda tem pouco interesse pelos pesquisadores da área (BAMBAZEK; GROHER; SEYFF, 2023). O principal fator de interesse das organizações em adotar práticas sustentáveis é por razões econômicas, seguidas de razões morais e sociais (HELDAL et al., 2024). Entretanto, mesmo com todo o valor da sustentabilidade para promover benefícios financeiros (novas

oportunidades de negócio, mitigação de ameaças, fator de diferenciação, entre outros) ainda existe uma dificuldade de atrair investidores (HELDAL et al., 2024), visto que os investidores não estão dispostos a abandonar os retornos imediatos para apoiar projetos ecológicos com retorno a longo prazo (LARCKER; WATTS, 2020). Apesar disso, os investidores estão cientes que os riscos climáticos podem causar implicações financeiras (KRUEGER; SAUTNER; STARKS, 2020). Mesmo com a contradição entre essas informações, elas podem indicar que os problemas climáticos e de sustentabilidade estão começando gradativamente a serem visualizados como fatores importantes para os investidores.

3.4.2 Diferenças Entre Catálogos

Após a finalização do catálogo NFR4SUSTAIN foram encontrados algumas diferenças significativas em comparação ao catálogo desenvolvido no trabalho de Moreira et al. (2023). As principais mudanças foram: inclusão da dimensão econômica, novos requisitos encontrados para as dimensões social e técnica e novos relacionamentos de interdependências. Outras contribuições significativas foram a construção de cartões de especificação e uma Prova de Conceito contendo exemplos de operacionalizações (Capítulo 4). A seguir são detalhadas as principais diferenças entre os catálogos propostos nesse trabalho e no trabalho de Moreira et al. (2023).

- Comparações
 - Nova dimensão adicionada (econômica)
 - Mudança de notação (Em vez de iStar foi utilizado o NFR Framework)
 - Cartões de Especificação
 - Exemplos de Operacionalizações (Capítulo 4)

Em relação à dimensão social, foram adicionados os requisitos de Confiabilidade como requisito principal e seu requisito secundário de Disponibilidade. Outra mudança foi no requisito de Usabilidade, que está presente em ambos os catálogos contendo os requisitos de Reconhecimento de Adequação e Acessibilidade. Entretanto, no catálogo desse estudo foram acrescentados os requisitos secundários de Aprendizagem, Operabilidade e Proteção Contra Erros do Usuário.

- Adicionado

- Confiabilidade (de Disponibilidade)
- Aprendizagem, Operabilidade e Proteção Contra Erros do Usuário em Usabilidade

Na dimensão técnica foram adicionados como requisitos principais: Segurança (de Integridade), Usabilidade (de Proteção Contra Erros do Usuário), Extensibilidade e Robustez. Também foi adicionado Escalabilidade como requisito secundário de Portabilidade. Além dos novos requisitos, também foram encontradas novos relacionamentos, que são: Instalabilidade tem uma contribuição positiva para Adequação Funcional, Analisabilidade e Modularidade ajudam o sistema ter Modificabilidade, um sistema com Robustez ajuda a Disponibilidade e a Recuperabilidade do sistema beneficia a sua Disponibilidade. Por fim, outro ponto que vale ressaltar é a troca de nomenclatura de “Eficiência de Desempenho” para “Desempenho”, com o objetivo de evitar possíveis confusões com o requisito de “Eficiência”.

- Adicionado

- Segurança (de Integridade)
- Usabilidade (de Proteção Contra Erros do Usuário)
- Extensibilidade
- Robustez
- Escalabilidade em Portabilidade
- Correlação positiva de Instalabilidade para Adequação Funcional
- Correlação positiva de Analisabilidade e Modularidade para Modificabilidade
- Correlação positiva de Robustez para Disponibilidade
- Correlação positiva de Recuperabilidade para Disponibilidade

- Adaptado

- “Eficiência de Desempenho” => “Desempenho”

4 AVALIAÇÃO DO CATÁLOGO NFR4SUSTAIN

Nesta dissertação os métodos utilizados para validação da pesquisa compreenderam a execução de uma Prova de Conceito, entrevistas com especialistas das áreas de sustentabilidade e requisitos, bem como a coleta, por meio de questionário, da opinião de alunos de engenharia de requisitos. Todas as avaliações tiveram como foco verificar a qualidade, utilidade e entendimento do catálogo NFR4SUSTAIN, além de obter diferentes opiniões e sugestões de diferentes fontes.

4.1 PROVA DE CONCEITO

Sabemos que o catálogo NFR4SUSTAIN poderá ajudar tanto os desenvolvedores de sistemas a incorporarem RNFs relacionados à sustentabilidade em seus projetos, como permitir que os stakeholders avaliem/selecionem sistemas de acordo com os requisitos para sustentabilidade. Para ilustrar o uso do catálogo NFR4SUSTAIN, foi construído uma Prova de Conceito a partir da aplicação do catálogo em um sistema real.

A seguir ilustraremos a utilização do catálogo para a avaliação em um sistema já existente, que estimula atos de sustentabilidade, lazer e saúde da população. Tomamos como exemplo o sistema do serviço da Moeda Capiba¹, que oferece o serviço de recompensas em troca de pontos para a população recifense. Sua utilização é limitada para a região metropolitana de Recife e é um projeto desenvolvido pela prefeitura de Recife. A moeda Capiba é integrada ao sistema Conecta Recife², sistema de acesso aos serviços da prefeitura, disponível nos principais sistemas operacionais de dispositivos móveis.

O sistema Conecta Recife² acomoda os principais serviços oferecidos para população recifense pela prefeitura de Recife, entre eles existe o Programa Academia Recife, que oferece serviços de exercícios físicos em academias ao ar livre. Com a orientação de profissionais de Educação Física, são realizadas aulas de musculação e atividades coletivas de forma gratuita. Para que um cidadão possa participar das aulas, é necessário agendar uma sessão de treinamento através do sistema Conecta Recife². A confirmação do agendamento é feita pelo profissional do programa no momento da aula.

¹ Moeda Capiba - A nova moeda digital do Conecta Recife. Disponível em: <<https://conecta.recife.pe.gov.br/servico/949>>. Acessado em: 20/06/2024.

² Conecta Recife. Portal de Serviços. Disponível em: <<https://conecta.recife.pe.gov.br/>>. Acessado em: 20/06/2024.

Foi desenvolvida uma estratégia de gamificação dentro do aplicativo Conecta Recife para aumentar o engajamento dos cidadãos. Essa estratégia introduziu uma moeda social chamada Capiba. Os participantes do programa, ao se exercitarem nas academias ao ar livre, são recompensados com Capibas.

O sistema permite que o usuário visualize os polos com vagas disponíveis para os serviços físicos, incluindo o tipo de atividades oferecidas, a quantidade de vagas e os horários disponíveis. Além disso, o sistema contabiliza pontos para cada atividade concluída, que podem ser trocados por prêmios.

Essas moedas virtuais podem ser trocadas no *Marketplace* do próprio aplicativo Conecta Recife. O *Marketplace* serve como uma plataforma para empresas e negócios locais que desejam expor seus produtos e apoiar a prática de exercícios físicos. Essa troca de Capibas por produtos e serviços cria um incentivo adicional para que os cidadãos continuem se exercitando regularmente.

Ao promover a prática de exercícios físicos, espera-se que pessoas de classes sociais baixas adotem um estilo de vida mais saudável, o que pode resultar em uma redução significativa dos custos de saúde para o poder público.

Essa abordagem não só incentiva a atividade física regular, mas também promove uma interação benéfica entre a população e os negócios locais, fortalecendo a economia local e criando uma cultura de bem-estar e saúde na cidade do Recife. A gamificação, com o uso da moeda social Capiba, transforma a experiência de se exercitar em algo mais recompensador e motivador, contribuindo para um impacto positivo tanto na saúde pública quanto na economia.

O foco da aplicação do catálogo para sustentabilidade no serviço da Moeda Capiba é identificar quais requisitos o sistema implementa e quais operacionalizações foram refinadas para satisfazerem cada requisito. Com isso pretende-se ilustrar a utilização do catálogo NFR4SUSTAIN e obter exemplos de operacionalizações derivadas dos requisitos para sustentabilidade.

Por meio de contato com a prefeitura de Recife e stakeholders envolvidos no projeto, foi disponibilizado a documentação do sistema, contendo as informações essenciais que compõem sua concepção e desenvolvimento. Também realizaram-se reuniões e entrevistas com os stakeholders para sanar dúvidas e debater sobre os requisitos e operacionalizações que o sistema contempla.

Para aplicação do catálogo no sistema da Moeda Capiba foi analisado e realizado diversos testes por meio da utilização do sistema, assim como também foram levantados os dados

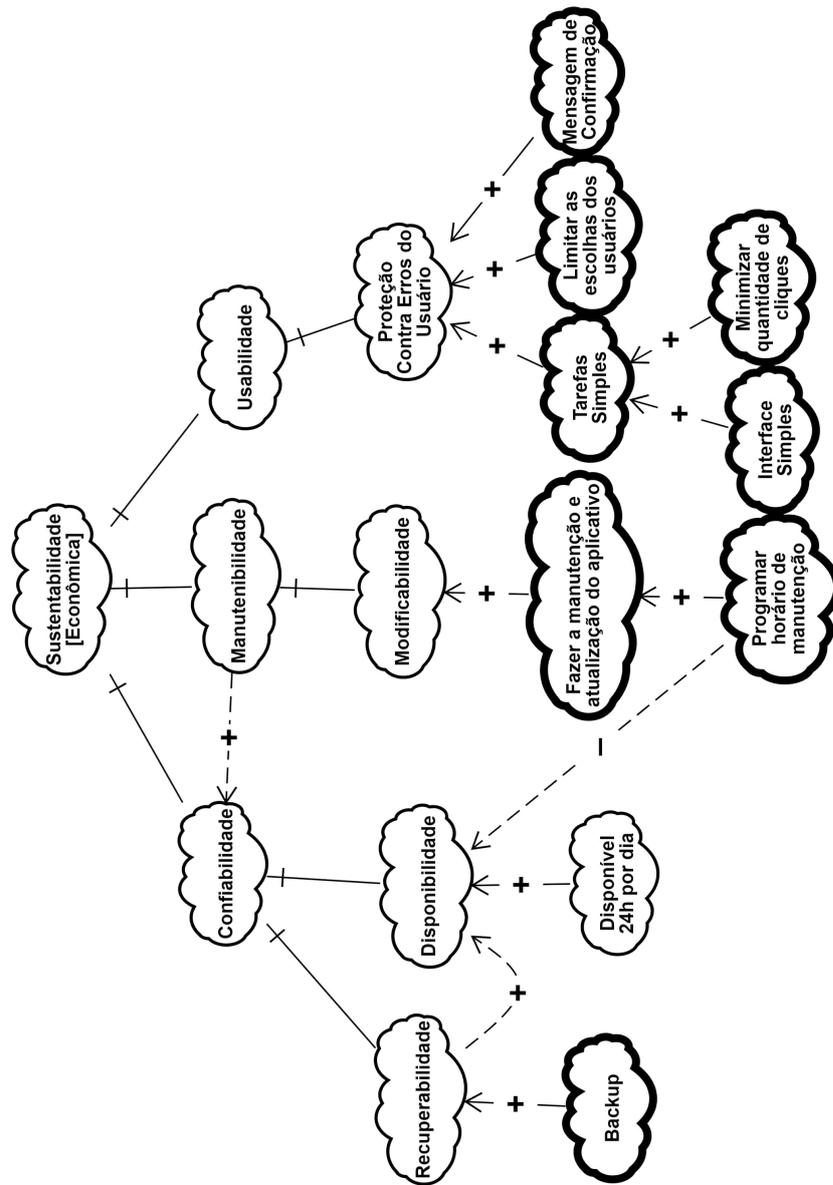
fundamentais sobre o sistema, por meio: das informações disponíveis nos canais oficiais de comunicação, na documentação que foi disponibilizada pelos stakeholders e com as reuniões realizadas com os stakeholders. Após a aplicação do catálogo, foram identificados os requisitos para sustentabilidade que estão presentes no projeto atual.

Para uma melhor compreensão da aplicação do catálogo, também foram retratados as operacionalizações presentes no sistema que foram refinadas de algum dos requisitos para sustentabilidade. Ao todo foram identificados cerca de 7 requisitos principais (Segurança, Mitigação de Riscos, Compatibilidade, Portabilidade, Confiabilidade, Manutenibilidade e Usabilidade). A seguir são descritos os requisitos e operacionalizações encontrados de acordo com sua dimensão de sustentabilidade.

4.1.1 Prova de Conceito - Dimensão Econômica

Na dimensão econômica (vide Figura 21) foram identificados somente 3 requisitos principais para sustentabilidade, que são: **Confiabilidade** (de Disponibilidade e Recuperabilidade), **Manutenibilidade** (de Modificabilidade) e **Usabilidade** (de Proteção Contra Erros do Usuário).

Figura 21 – Moeda Capiba - Dimensão Econômica

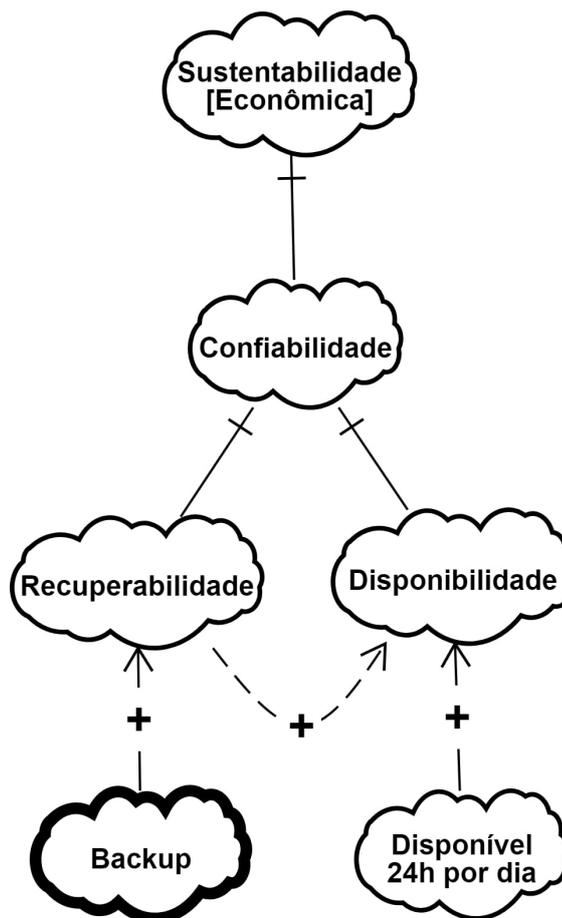


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

▪ Confiabilidade

O requisito de Confiabilidade (Figura 22) foi decomposto em Disponibilidade e Recuperabilidade. Para que esses requisitos sejam satisfeitos, temos como contribuições positivas uma operacionalização e um softgoal, descritos a seguir:

Figura 22 – Ilustração - Dimensão Econômica - Confiabilidade



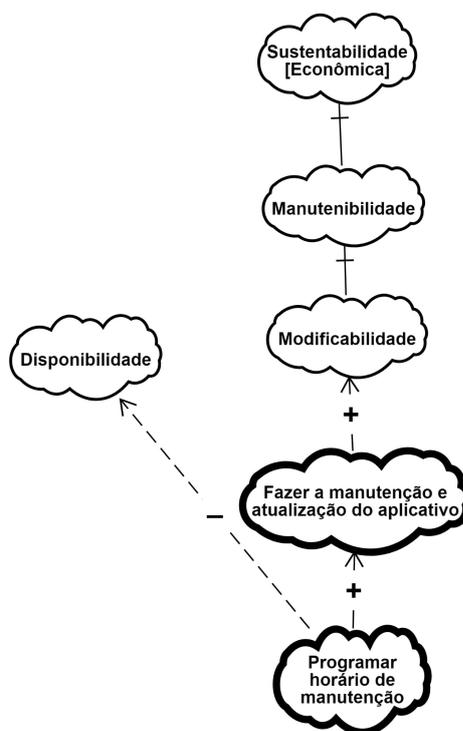
Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

- **Disponível 24h por dia:** é de grande importância que o sistema esteja operando a maior quantidade de tempo possível para que gere lucro e valor.
- **Backup:** a realização de backups periódicos é uma medida preventiva para que o sistema recupere dados perdidos em caso de falhas.

▪ Manutenibilidade

Na Figura 23 temos o requisito de Manutenibilidade que foi decomposto somente em Modificabilidade. As operacionalizações definidas para satisfazer esse requisito são:

Figura 23 – Ilustração - Dimensão Econômica - Manutenibilidade



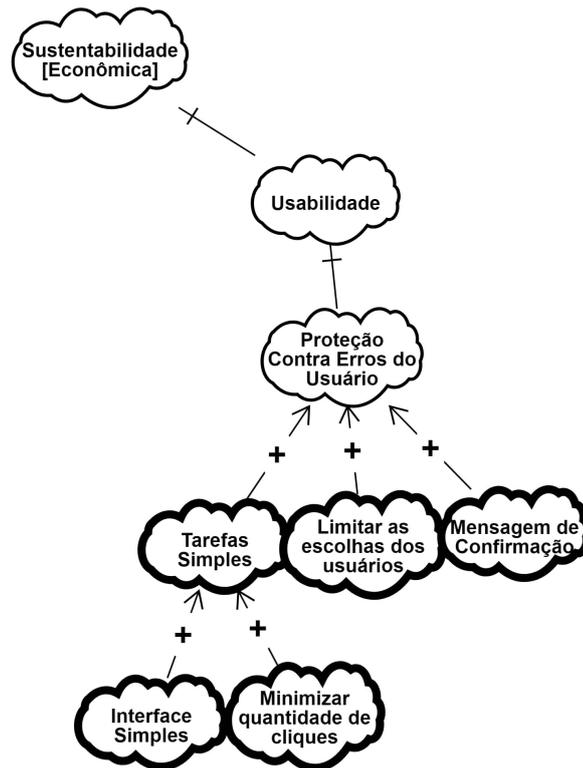
Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

- **Fazer a manutenção e atualização do aplicativo:** para que o aplicativo esteja sempre de acordo com as exigências do mercado e possa evoluir são realizadas manutenções periódicas.
 - * **Programar horário de manutenção:** uma das formas de implementar a atualização do sistema é programando um horário específico para que as alterações sejam efetuadas. Entretanto, ao deixar o sistema indisponível enquanto é atualizado, é um fator negativo para a disponibilidade do sistema.

▪ Usabilidade

O requisito de Usabilidade (Figura 24) foi decomposto somente em Proteção Contra Erros do Usuário. As operacionalizações implementadas para satisfazer esse requisito são:

Figura 24 – Ilustração - Dimensão Econômica - Usabilidade



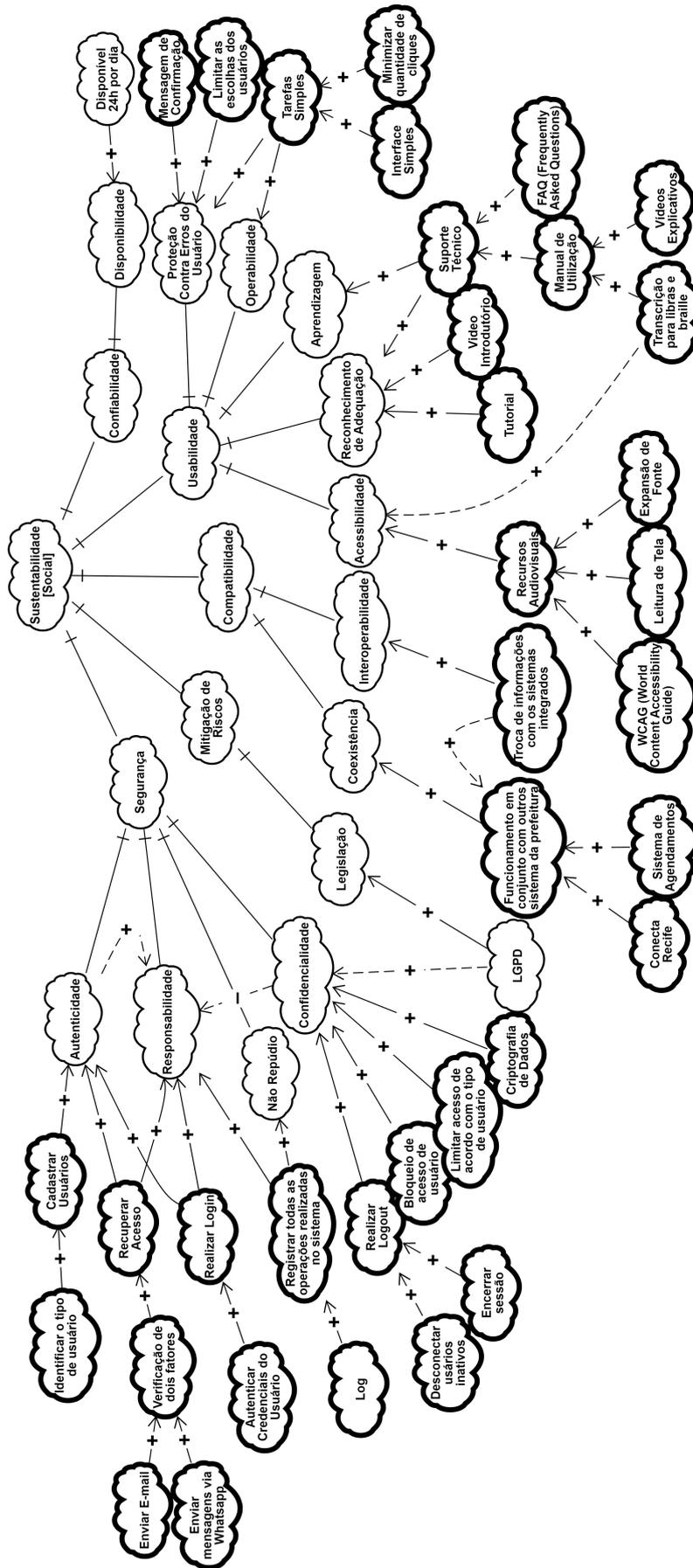
Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

- **Tarefas Simples:** quanto mais simples o sistema, mais fácil será para os usuários utilizarem sem a ocorrência de erros.
 - * **Interface Simples:** Uma interface simplificada com processos reduzidos aumenta a facilidade de uso do sistema e evita erros por parte dos usuários.
 - * **Minimizar quantidade de cliques:** quanto menos ações forem necessárias para alcançar um objetivo, melhor será a experiência do usuário.
- **Limitar as escolhas dos usuários:** as interfaces devem possuir regras claras de restrição e limitação das opções dos usuários.
- **Mensagem de Confirmação:** as funcionalidades do sistema devem exibir uma mensagem de confirmação para que o usuário não realize uma tarefa por engano.

4.1.2 Prova de Conceito - Dimensão Social

A dimensão social (vide Figura 25) foi a dimensão mais refinada e que conta com a maior quantidade de requisitos e operacionalizações encontrados, com 5 requisitos principais para sustentabilidade. Foram identificados os seguintes requisitos: **Segurança** (de Autenticidade, Responsabilidade, Não Repúdio e Confidencialidade), **Mitigação de Riscos** (de Legislação), **Compatibilidade** (de Coexistência e Interoperabilidade), **Usabilidade** (de Acessibilidade, Reconhecimento de Adequação, Aprendizagem, Operabilidade e Proteção Contra Erros do Usuário) e **Confiabilidade** (de Disponibilidade).

Figura 25 – Moeda Capiba - Dimensão Social

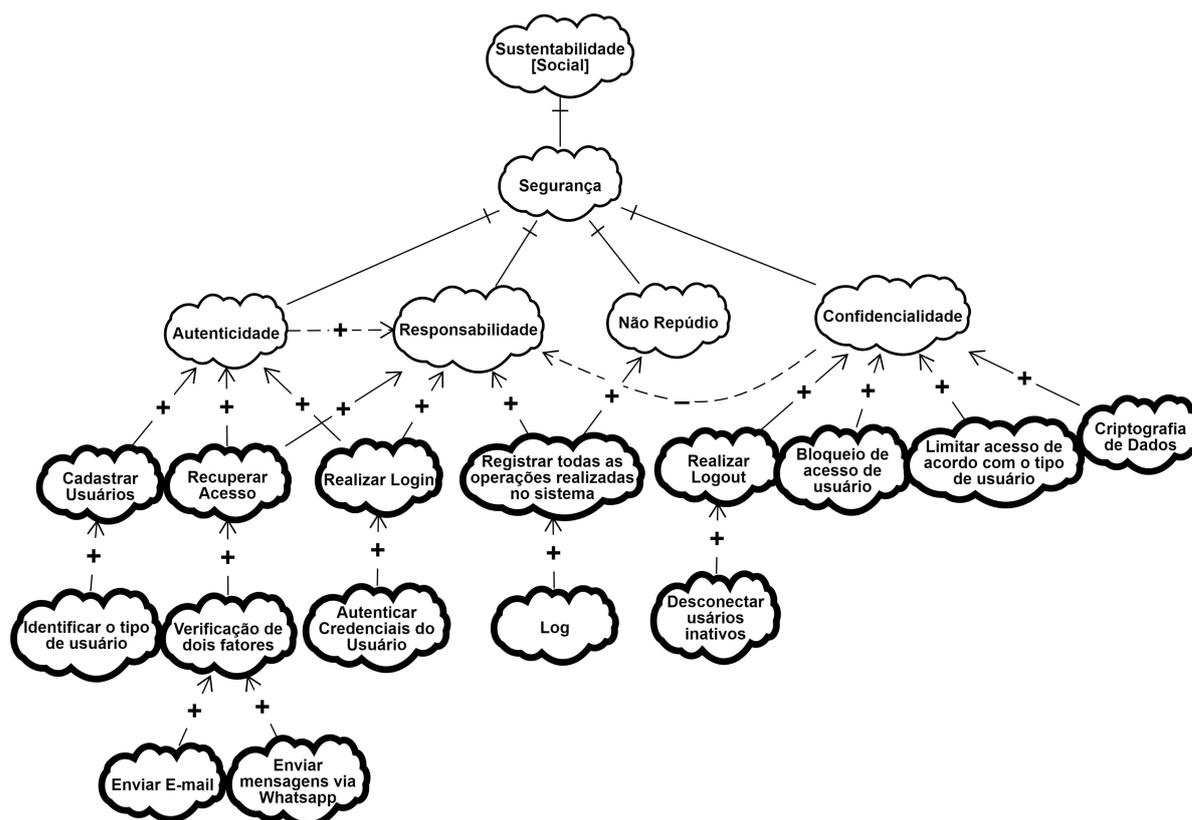


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

▪ Segurança

Na Figura 26 temos o requisito de Segurança decomposto em Autenticidade, Responsabilidade, Não Repúdio e Confidencialidade. As operacionalizações encontradas para satisfazer esses requisitos são descritas a seguir:

Figura 26 – Ilustração - Dimensão Social - Segurança



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

- **Cadastrar Usuários:** o sistema deve permitir a criação de dados de cadastro do usuário, possibilitando a identificação de que o usuário sendo registrado é interno (funcionário/professor) ou externo (cidadão comum).

* **Identificar o tipo de usuário:** o usuário deve ser cadastrado com um tipo específico, pois deve mostrar uma área diferente de acordo com o tipo de usuário.

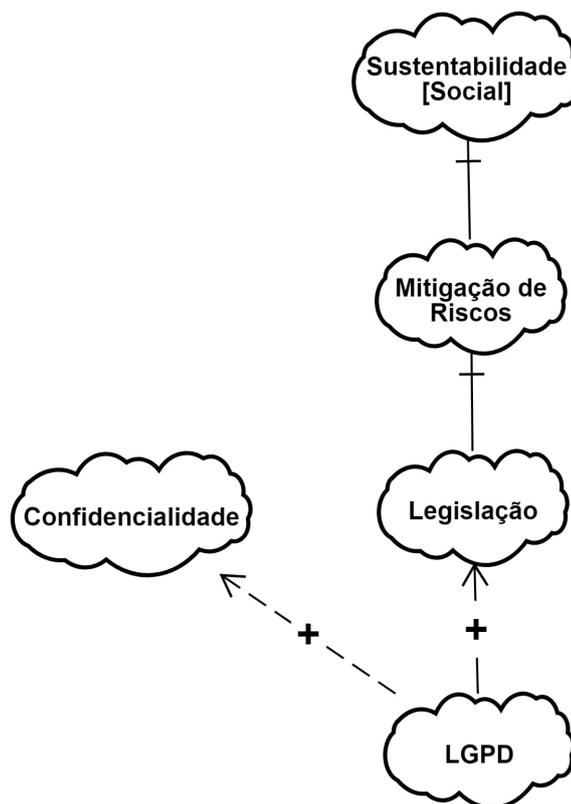
- **Recuperar Acesso:** O sistema deve permitir, de forma segura e baseada em autenticação de dois fatores, a recuperação de dados de acesso e a redefinição de senha por usuários previamente cadastrados.

- * **Verificação de dois fatores:** método de segurança que exige duas formas de verificação para acessar o sistema, adicionando uma camada extra de segurança, além do simples uso de um nome de usuário e senha. Para recuperar o acesso ao sistema são enviadas mensagens com instruções via **E-mail** ou **WhatsApp**
- **Realizar Login:** para acessar o sistema é necessário que os usuários previamente cadastrados informem suas credenciais de login.
- **Registrar todas as operações realizadas no sistema:** ao registrar as operações realizadas no sistema pelo usuário é estabelecido uma rastreabilidade, útil para identificar e comprovar ações posteriormente.
 - * **Log:** Todas as atividades do sistema são guardados com informações detalhadas do usuário e da ação realizada.
- **Realizar Logout:** o usuário é desconectado do sistema de forma segura.
 - * **Desconectar usuários inativos:** A cada 3 meses, o sistema desconecta o usuário automaticamente e solicita uma nova autenticação.
- **Bloqueio de acesso do usuário:** após três tentativas malsucedidas de login, o sistema deve bloquear o acesso do usuário.
- **Limitar acesso de acordo com o tipo de usuário:** os usuários têm disponíveis interfaces e funcionalidades diferentes de acordo com seu tipo.
- **Criptografia de dados:** o sistema deve empregar um protocolo de camada de segurança para estabelecer um canal de comunicação criptografado.

▪ Mitigação de Riscos

O requisito de Mitigação de Riscos (Figura 27) foi decomposto somente em Legislação, o qual definiu o seguinte softgoal como uma contribuição positiva:

Figura 27 – Ilustração - Dimensão Social - Mitigação de Riscos



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

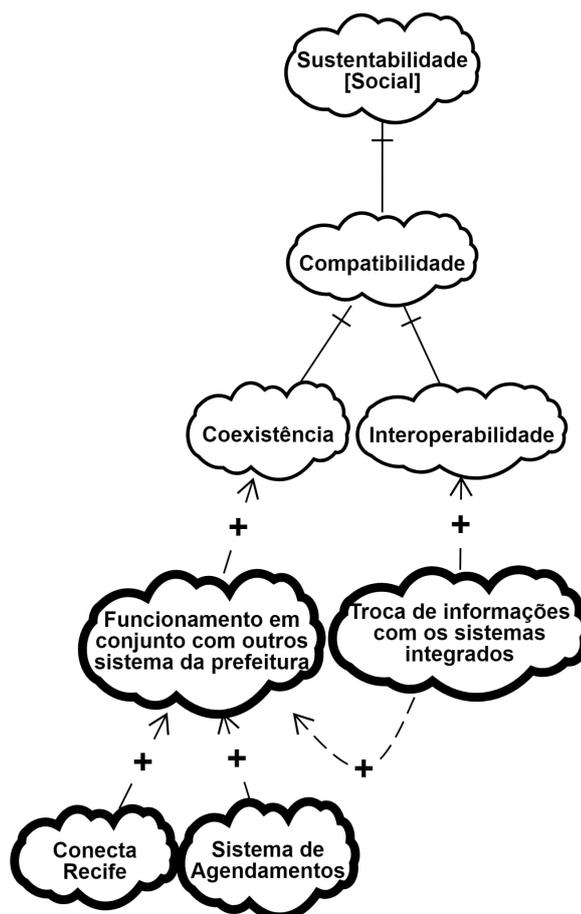
- **LGPD**: o sistema está de acordo com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD)¹. Seguir as diretrizes estabelecidas pela LGPD¹ também é um fator positivo para a Confidencialidade dos dados dos usuários.

¹ Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm>

▪ Compatibilidade

A Compatibilidade (Figura 28) foi refinada nos requisitos de Coexistência e Interoperabilidade. Esses requisitos são satisfeitos com as contribuições das seguintes operacionalizações:

Figura 28 – Ilustração - Dimensão Social - Compatibilidade



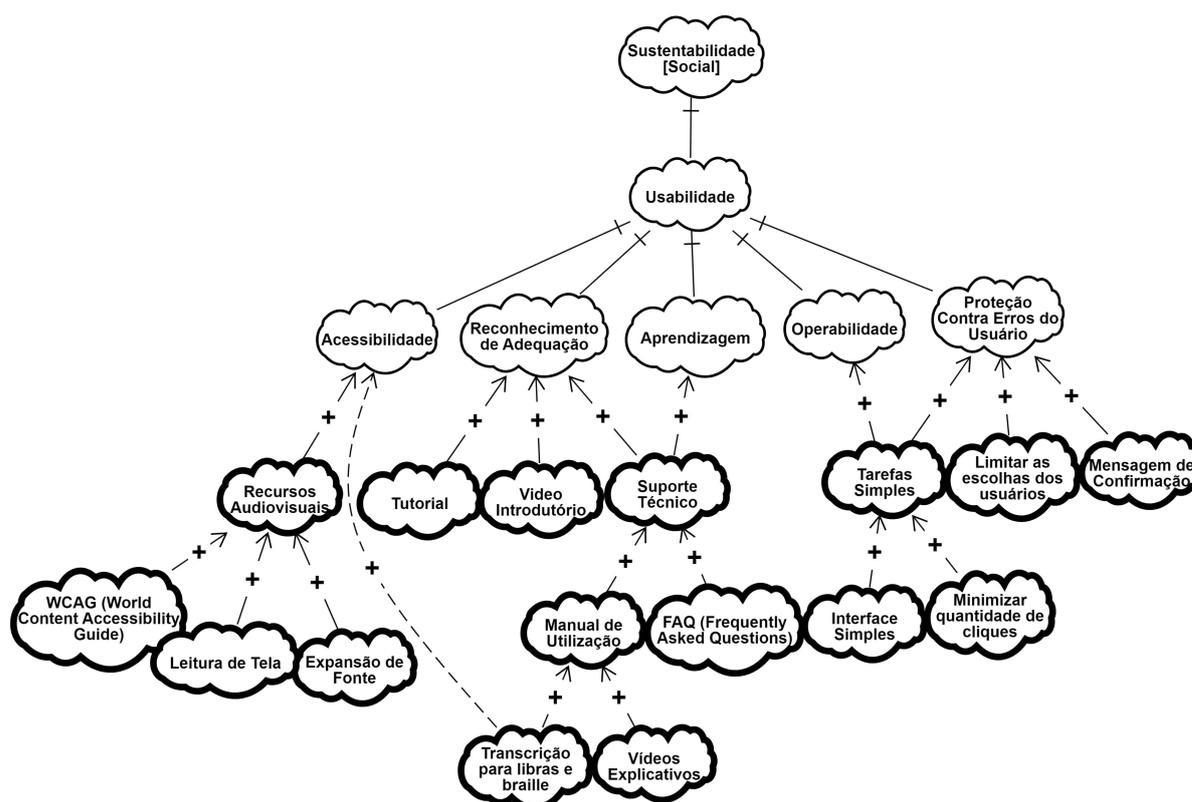
Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

- **Funcionamento em conjunto com outros sistemas da prefeitura:** todos os serviços da prefeitura são centralizados no sistema Conecta Recife. No caso do serviço da Moeda Capiba, ele opera em conjunto do **Conecta Recife** e do **Sistema de Agendamentos** para marcar sessões treinamento nas academias ao ar livre.
- **Troca de informações com os sistemas integrados:** todos os sistemas integrados compartilham as mesmas informações em comum dos usuários.

▪ Usabilidade

A Figura 29 apresenta o requisito de Usabilidade que foi refinado em Acessibilidade, Reconhecimento de Adequação, Aprendizagem, Operabilidade e Proteção Contra Erros do Usuário. A seguir são detalhadas as operacionalizações implementadas para satisfazer esses requisitos:

Figura 29 – Ilustração - Dimensão Social - Usabilidade



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

- **Recursos Audiovisuais:** o sistema faz uso de recursos audiovisuais, para tornar o sistema acessível para pessoas que possuam alguma limitação visual ou auditiva.
 - * **WCAG (World Content Accessibility Guide):** O sistema deve cumprir as recomendações de acessibilidade do WCAG (Web Content Accessibility Guidelines)¹ do W3C.
 - * **Leitura de Tela:** ferramenta para converter texto em fala ou em braille, permitindo que pessoas com deficiência visual interajam com o conteúdo digital de maneira eficaz.

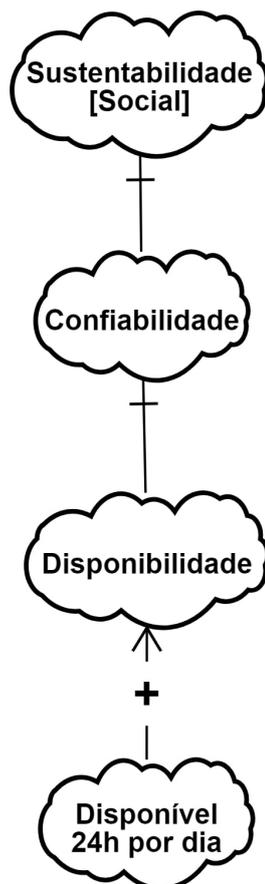
¹ Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. Disponível em: <<https://www.w3.org/TR/WCAG21/>>

- * **Expansão de Fonte:** funcionalidade que permite que os usuários aumentem ou diminuam o tamanho do texto para melhorar a legibilidade, atendendo necessidades específicas, especialmente para aqueles com deficiências visuais.
- **Tutorial:** explicação detalhada de como são realizadas as ações dentro do aplicativo.
- **Vídeo Introdutório:** vídeo base para demonstrar as funcionalidades do sistema e os benefícios em utilizá-lo.
- **Suporte Técnico:** são oferecidos canais de comunicação entre os responsáveis pela aplicação e os usuários, fornecendo ajuda necessária para garantir o uso adequado do sistema.
 - * **Manual de Utilização:** manual construído para capacitação dos usuários, contendo as instruções de uso do sistema, com **vídeos explicativos e transcrição para libras e braille.**
 - * **FAQ (Frequently Asked Questions):** área dedicada para as perguntas frequentes dos usuários, serve como base para mapear os problemas do sistema e responder às dúvidas dos usuários.
- **Tarefas Simples:** quanto mais simples o sistema, mais fácil será para os usuários utilizarem sem a ocorrência de erros.
 - * **Interface Simples:** Uma interface simplificada com processos reduzidos aumenta a facilidade de uso do sistema e evita erros por parte dos usuários.
 - * **Minimizar quantidade de cliques:** quanto menos ações forem necessárias para alcançar um objetivo, melhor será a experiência do usuário.
- **Limitar as escolhas dos usuários:** as interfaces devem possuir regras claras de restrição e limitação das opções dos usuários.
- **Mensagem de Confirmação:** as funcionalidades do sistema devem exibir uma mensagem de confirmação para que o usuário não realize uma tarefa por engano.

▪ Confiabilidade

Na Figura 30 é apresentado o requisito de Confiabilidade decomposto no requisito de Disponibilidade. Para satisfazer esse requisito temos como contribuição positiva o soft-goal de:

Figura 30 – Ilustração - Dimensão Social - Confiabilidade



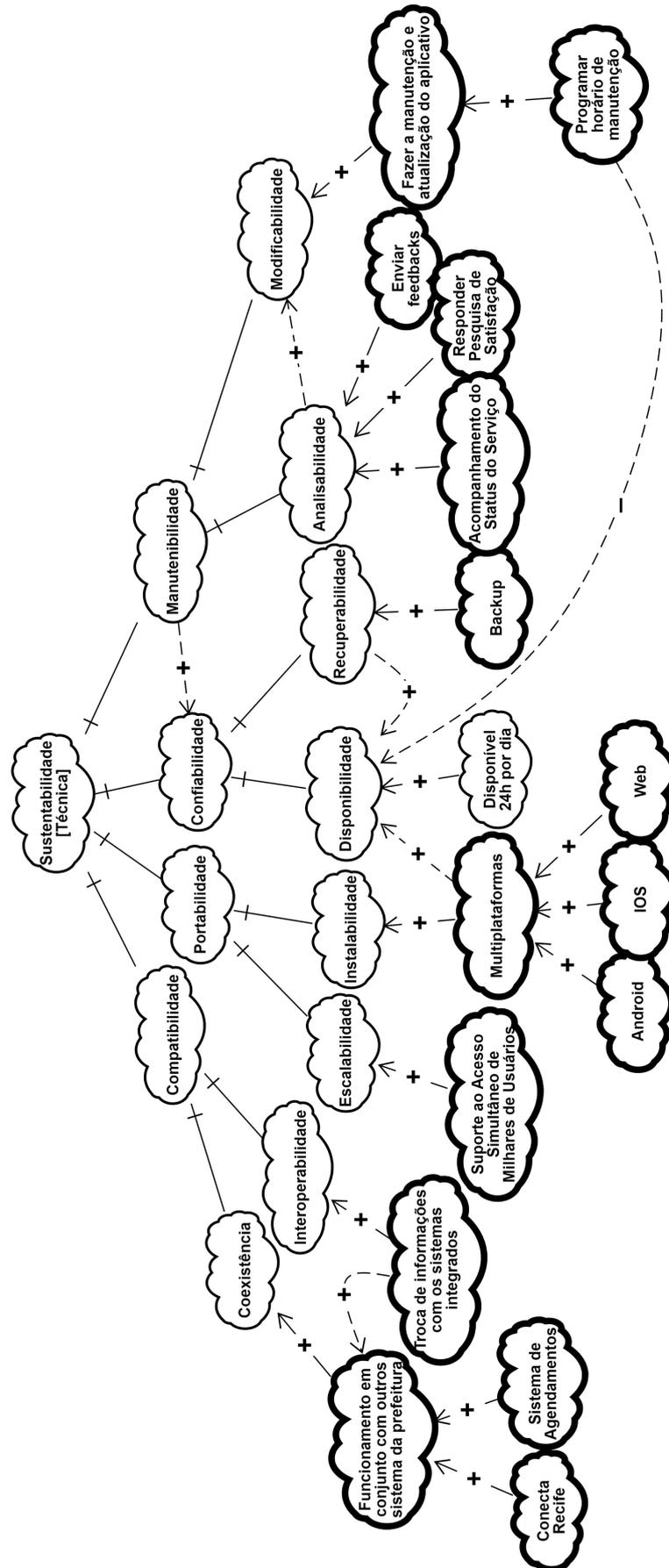
Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

- **Disponível 24h por dia:** quanto mais tempo o sistema estiver disponível, melhor será para que os seus usuários consigam usufruir de suas funcionalidades e realizar seus objetivos.

4.1.3 Prova de Conceito - Dimensão Técnica

Por último, na dimensão técnica (vide Figura 31) foram identificados os requisitos de: **Compatibilidade** (de Coexistência e Interoperabilidade), **Portabilidade** (de Escalabilidade e Instalabilidade), **Confiabilidade** (de Disponibilidade e Recuperabilidade) e **Manutenibilidade** (de Modificabilidade e Analisabilidade).

Figura 31 – Moeda Capiba - Dimensão Técnica

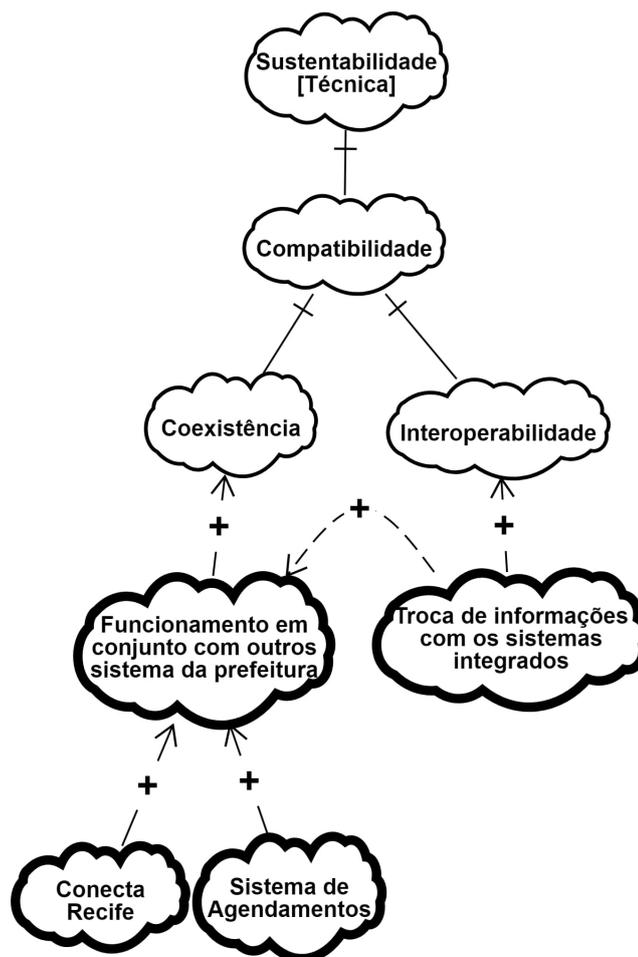


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

▪ Compatibilidade

Na Figura 32 temos o requisito de Compatibilidade decomposto nos requisitos de Coexistência e Interoperabilidade. As operacionalizações que contribuem para a satisfação desses requisitos são:

Figura 32 – Ilustração - Dimensão Técnica - Compatibilidade



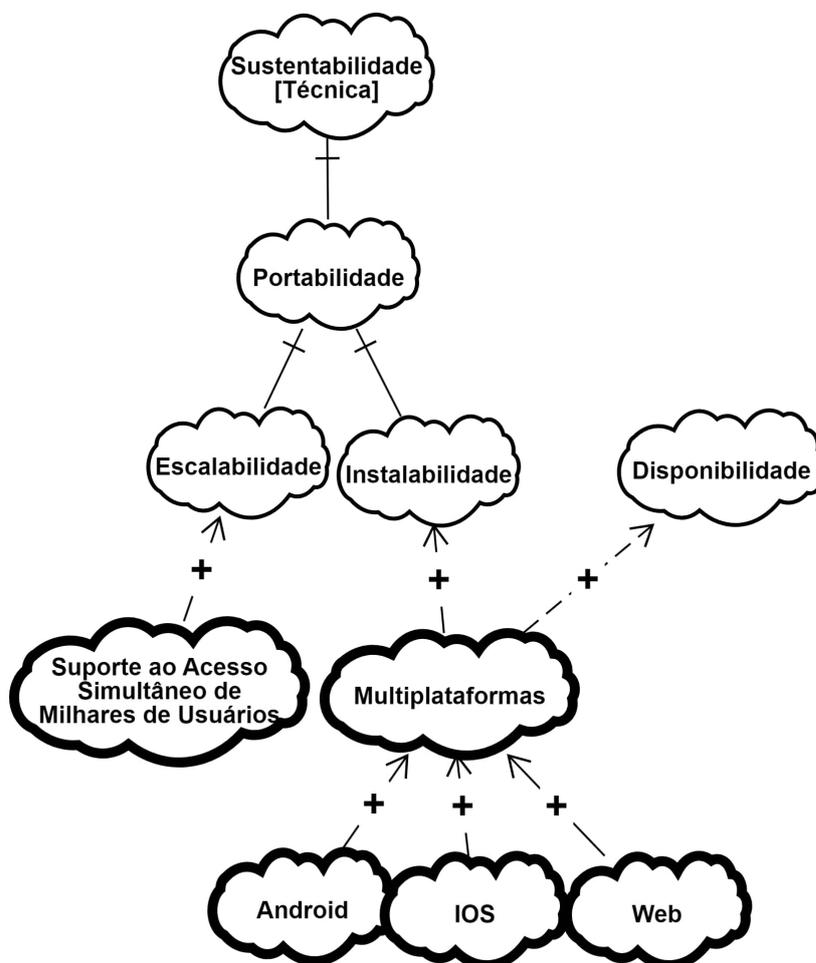
Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

- **Funcionamento em conjunto com outros sistemas da prefeitura:** todos os serviços da prefeitura são centralizados no sistema Conecta Recife. No caso do serviço da Moeda Capiba, ele opera em conjunto do **Conecta Recife** e do **Sistema de Agendamentos** para marcar sessões treinamento nas academias ao ar livre.
- **Troca de informações com os sistemas integrados:** todos os sistemas integrados compartilham as mesmas informações em comum dos usuários.

▪ Portabilidade

O requisito de Portabilidade (Figura 33) é decomposto nos requisitos de Escalabilidade e Instalabilidade. As operacionalizações definidas para esses requisitos são:

Figura 33 – Ilustração - Dimensão Técnica - Portabilidade



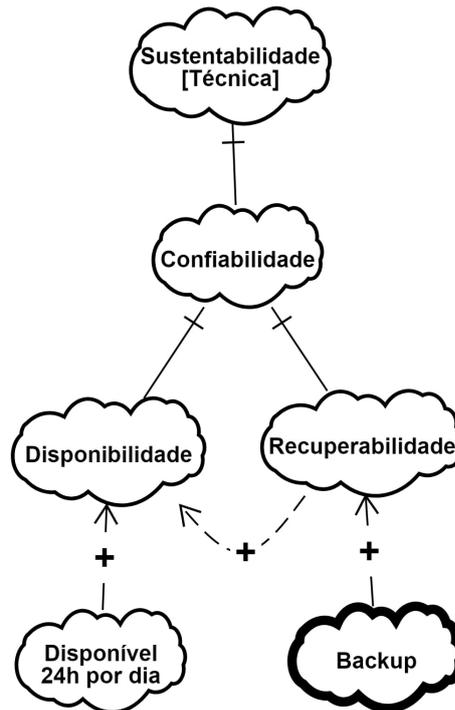
Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

- **Suporte ao acesso simultâneo de milhares de usuários:** o sistema têm capacidade para acomodar usuários de toda a região metropolitana de Recife.
- **Multiplataforma:** A aplicação é compatível com dispositivos móveis **Android** e **iOS**, além de estar disponível em formato **Web**, acessível em qualquer navegador.

▪ Confiabilidade

A Figura 34 exibe o requisito de Confiabilidade refinado em Disponibilidade e Recuperabilidade. Esses requisitos têm como contribuições positivas uma operacionalizações e um softgoal:

Figura 34 – Ilustração - Dimensão Técnica - Confiabilidade



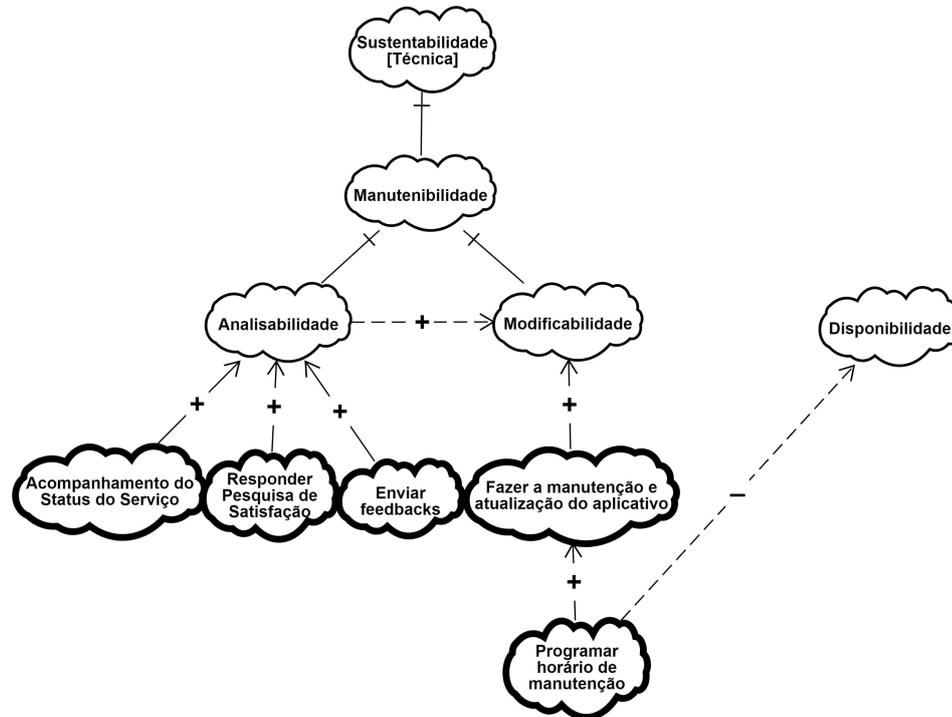
Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

- **Disponível 24h por dia:** a quantidade de tempo que o sistema está operacional é importante para seu uso contínuo pelos usuários.
- **Backup:** a realização de backups periódicos é uma medida preventiva para que o sistema recupere dados perdidos em caso de falhas.

▪ Manutenibilidade

O requisito de Manutenibilidade (Figura 35) foi decomposto em Modificabilidade e Analisabilidade. A seguir são descritas as operacionalizações derivadas desses requisitos:

Figura 35 – Ilustração - Dimensão Técnica - Manutenibilidade



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

- **Acompanhamento do status do serviço:** O status de operação do serviço é identificado e atualizado em tempo real.
- **Responder pesquisa de satisfação:** A cada 6 meses, é disponibilizado uma pesquisa para os usuários. Nessa pesquisa é avaliado a qualidade do serviço oferecido.
- **Enviar Feedbacks:** o sistema conta com uma área dedicada para que os usuários possam enviar comentários de erros ou falhas do sistema.
- **Fazer a manutenção e atualização do aplicativo:** São realizadas manutenções periódicas no sistema, com a finalidade de manter o aplicativo sempre em condições ideais de funcionamento, bem como evitar obsolescência e desuso.
 - * **Programar horário de manutenção:** uma das formas de implementar a atualização do sistema é programando um horário específico para que as alterações sejam efetuadas. Entretanto, ao deixar o sistema indisponível enquanto é atualizado, é um fator negativo para a disponibilidade do sistema.

4.2 ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS

Foram convidados 3 especialistas para a condução dessa avaliação. Todos os participantes têm mais de 10 anos de experiência em engenharia de requisitos e 2 dos participantes têm pesquisas na área que envolvem sustentabilidade de software. A avaliação consistiu em entrevistas individuais com cada especialista, com a finalidade de constatar a qualidade do catálogo e dos cartões de especificação. Foram coletados opiniões e sugestões dos especialistas entrevistados referentes a utilidade e qualidade do catálogo.

As entrevistas seguiram um modelo semi-estruturado, no qual foi elaborado um roteiro prévio exibido de acordo com as transparências da apresentação (vide Apêndice C), mas com total liberdade para interrupções e perguntas de ambas as partes. Primeiramente foi apresentado o desenvolvimento do estudo com todas as etapas seguidas para construção do catálogo, em seguida foram apresentados e explicados o catálogo NFR4SUSTAIN e os cartões de especificação, para enfim serem debatidos pelo entrevistado e entrevistador. Para a fase de discussão foram elaboradas perguntas orientadoras sobre os pontos focais da entrevista. Para finalizar a entrevista foi aplicado um questionário para coletar o perfil dos participantes e demais opiniões relevantes sobre a qualidade e utilidade do catálogo.

Todas as entrevistas foram realizadas de forma remota por meio do Google Meet. De acordo com o consentimento dos entrevistados, as entrevistas foram gravadas para possibilitar a transcrição em texto posteriormente. A Tabela 7 descreve as informações de cada entrevista realizada.

Tabela 7 – Realização da Entrevista com Especialistas

	Especialista	Reunião realizada	Duração	Roteiro	Objetivo
E1	Sustentabilidade e Requisitos	Online Google Meet	51 minutos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apresentação da construção do estudo ▪ Apresentação do catálogo NFR4SUSTAIN e dos cartões de especificação ▪ Discussão sobre o estudo ▪ Aplicação do questionário 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar a qualidade, utilidade e possíveis melhorias do catálogo
E2	Sustentabilidade e Requisitos	Online Google Meet	32 minutos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apresentação da construção do estudo ▪ Apresentação do catálogo NFR4SUSTAIN e dos cartões de especificação ▪ Comparativo entre catálogo NFR4SUSTAIN e o do trabalho de (MOREIRA et al., 2023) ▪ Discussão sobre o estudo ▪ Aplicação do questionário 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar a qualidade, utilidade e possíveis melhorias do catálogo
E3	Requisitos	Online Google Meet	48 minutos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apresentação da construção do estudo ▪ Apresentação do catálogo NFR4SUSTAIN e dos cartões de especificação ▪ Comparativo entre catálogo NFR4SUSTAIN e o do trabalho de (MOREIRA et al., 2023) ▪ Discussão sobre o estudo ▪ Aplicação do questionário 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar a qualidade, utilidade e possíveis melhorias do catálogo

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

A seguir são descritos as considerações realizadas pelos especialistas de acordo com as perguntas sucedidas nas entrevistas:

▪ **"Você acha que esse catálogo pode ser utilizado para projetar uma aplicação sustentável?"**

- E1: 'Claro que sim, convenha que atendendo à complexidade dos termos e as definições, é que haja um guia..., ou seja, os cartões de especificação, que ajudem realmente as pessoas a perceberem os conceitos que estão associados a cada um dos elementos que la estão'

-
- E2: 'Sim sim, é útil, claro...o que seria bom é ter também um front-end, para as pessoas não terem que saber como está construído o catálogo...é mais útil para as pessoas ficarem mais confortáveis em usar e selecionar as propriedades etc'
 - E3: 'Pode ser utilizado, não significa que ele é completo obviamente, não significa que ele é o melhor...mas sim ele vai ajudar'
- **"Há algum requisito que você gostaria de modificar ou acrescentar no catálogo?"**
- E1: 'Bem, considerando que a base é uma norma ISO, eu dizer que não concordo com algumas que lá estão, fica assim um bocado estranho. A verdade é que por exemplo eu tenho um conceito de segurança que não é o mesmo que tá na ISO...logicamente que a minha opinião não é tão valida como uma norma ISO...Você dizer que segue a norma ISO, consegue, digamos que sustentar melhor a defender os conceitos...Se você está seguindo uma determinada norma e está confortável com aquela definição das normas, deve segui-la...'
 - E2: 'Complementar aquelas nuvenzinhas que estão a ser desgarradas, digamos assim, ou sozinhas, pouco decompostas no fim das contas...acho que acrescentaria mais um bocadinho mais de informações para aquelas'
 - E3: 'Eficiência e Eficácia não...tão refinados'
- **"Há alguma interdependência que você gostaria de modificar ou acrescentar no catálogo?"**
- E1: '...Eu acho que é importante que você tente arranjar uma heurística que identifique mesmo os positivos e negativos...eu achava que acabava por ser importante...'
 - E2: '...Sinto falta de envolver custos...custos/viabilidade econômica e financeira'
 - E3: 'A única coisa que você precisa fazer naqueles seus cartões, deixar claro por que que você utilizou as correlações da maneira como você colocou né, por exemplo, uma correlação positiva, uma correlação negativa...'
- **"O que você acha que pode ser melhorado nos cartões de especificação?"**
- E1: 'Não estou a recordar nada...'

- E2: 'Exemplos...Eu sinto falta de exemplos...exemplos de requisitos que usem essa determinada propriedade'
- E3: 'Eu não colocaria cartão de especificação, é cartão de descrição de RNF....ou detalhes do RNF...E depois, não é atributo ascendente ou atributo descendente, não existe essa questão no requisito não-funcional, no NFR Framework...pode ser "decomposto em" ou foi "decomposto de"...'

Ao todo, as entrevistas conseguiram alcançar seu objetivo de avaliar o catálogo e obter *feedbacks* relevantes para que o catálogo possa ser evoluído. Cada um dos especialistas entrevistados sugeriu melhorias e modificações diferentes. Em resumo, dos pontos abordados podemos citar:

- Desenvolver um sistema de software para facilitar a aplicação do catálogo;
- Decompor os requisitos que atualmente não estão refinados (Eficiência, Eficácia, entre outros);
- Encontrar uma heurística para identificar as interdependências;
- Adicionar requisitos de custos/viabilidade econômica e financeira.

4.3 AVALIAÇÃO COM ALUNOS DO CURSO DE ENGENHARIA DE REQUISITOS

Para realização da avaliação de qualidade e utilidade do catálogo para sustentabilidade, foi aplicado um questionário (vide Apêndice D), em momentos distintos, em 3 turmas de alunos ao nível de graduação e pós-graduação. Fizeram parte dessa avaliação: 13 alunos da turma da graduação e 6 alunos da turma de pós-graduação, ambas do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco (CIn - UFPE) e 7 alunos da turma de pós-graduação da Escola Politécnica de Pernambuco - Universidade de Pernambuco (POLI - UPE). Todas as turmas estavam cursando a disciplina de engenharia de requisitos em seus respectivos cursos. Ao todo, 26 alunos responderam à avaliação do catálogo, sendo 13 alunos da graduação e 13 alunos da pós-graduação.

Antes da aplicação do questionário realizou-se uma dinâmica com as turmas (vide Apêndice E). Primeiramente foram apresentados os conceitos fundamentais da sustentabilidade e o processo de construção do catálogo. Em seguida, foram apresentados o catálogo e os cartões

de especificação desenvolvidos. Após as apresentações foi disponibilizado acesso ao material de apoio (catálogo, cartões de especificação e vídeo explicativo) necessários 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, qualidade e facilidade de entendimento do catálogo, por último, na terceira seção foi solicitado comentários e sugestões de melhorias.

4.3.1 Perfil dos Participantes

A primeira seção do questionário teve como objetivo mapear o perfil dos participantes, para isso foi verificado a familiaridade e experiência dos participantes com os temas abordados na pesquisa.

▪ Questão 1 - Qual a sua maior formação?

Na Figura 36 é visualizado o nível acadêmico dos participantes da pesquisa. Cerca de 53,8% (14/26) dos participantes possuem Graduação, 15,4% possuem Mestrado Incompleto (4/26), 11,5% (3/26) possuem Mestrado, 11,5% (3/26) Não possuem formação, 1 possui Especialização e 1 Doutorado Incompleto.

Figura 36 – Avaliação com Alunos - Questão 1



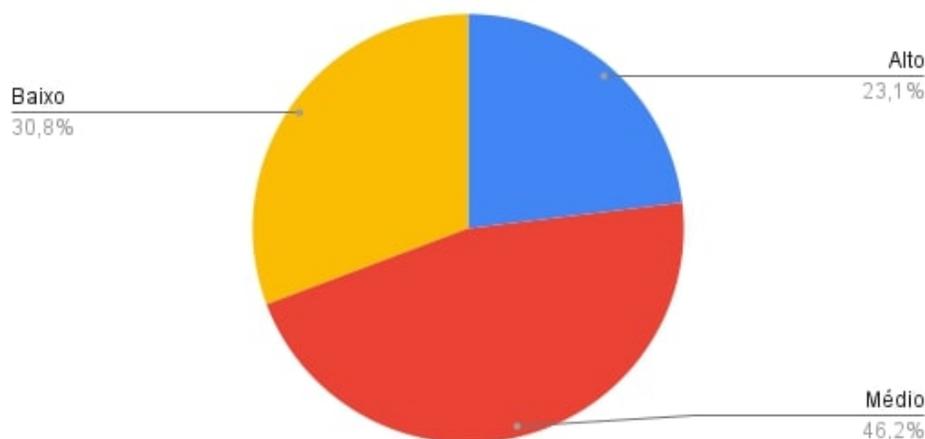
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

- **Questão 2 - Como você definiria seu nível de conhecimento em elicitação e especificação de requisitos?**

A Figura 37 apresenta o conhecimento dos participantes em relação a elicitação e especificação de requisitos. 46,2% (12/26) tem um conhecimento Médio, 23,1% (6/26) afirmam terem um Alto conhecimento e 30,8% (8/26) dizem ter um Baixo conhecimento.

Figura 37 – Avaliação com Alunos - Questão 2

2 - Como você definiria seu nível de conhecimento em elicitação e especificação de requisitos?



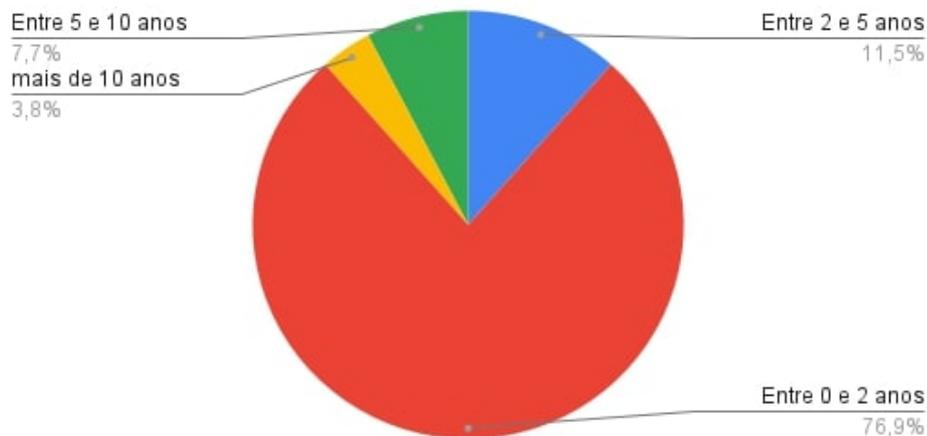
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

- **Questão 3 - Quantos anos de experiência você tem em elicitação e especificação de requisitos?**

Na Figura 38 temos a quantidade de anos de experiência em elicitação e especificação de requisitos dos participantes. Em grande maioria, 76,9% (20/26), possuem somente entre 0 a 2 anos de experiência, 11,5% (3/26) possuem entre 2 a 5 anos, 7,7% (2/26) possuem entre 5 a 10 anos e 3,8% (1/26) possuem mais de 10 anos de experiência.

Figura 38 – Avaliação com Alunos - Questão 3

3 - Quantos anos de experiência você tem em elicitación e especificación de requisitos?



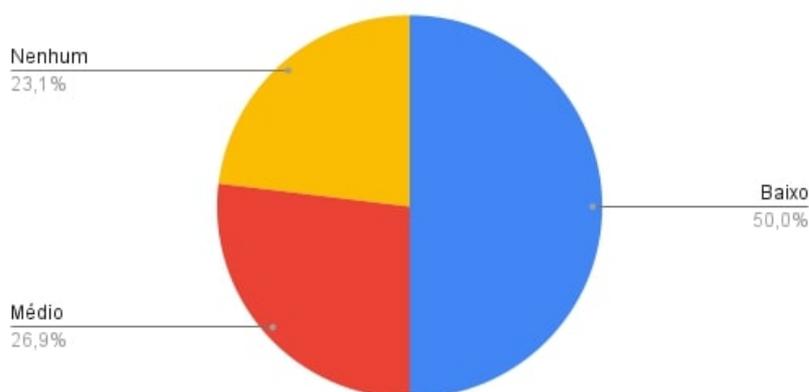
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

▪ Questão 4 - Como você definiria seu nível de conhecimento em NFR Framework?

Na Figura 39 é ilustrado o nível de conhecimento dos participantes sobre NFR Framework. No qual, temos 50% (13/26) dos participantes com um Baixo conhecimento, 26,9% (7/26) com um conhecimento Médio e cerca de 23,1% (6/26) com Nenhum conhecimento sobre o assunto.

Figura 39 – Avaliação com Alunos - Questão 4

4 - Como você definiria seu nível de conhecimento em NFR Framework?

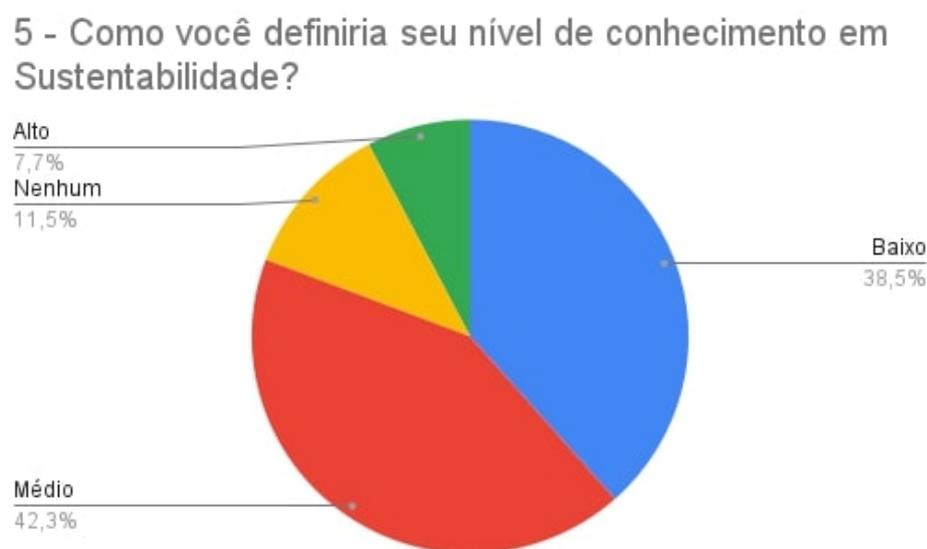


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

- **Questão 5 - Como você definiria seu nível de conhecimento em sustentabilidade?**

A Figura 40 apresenta o nível de conhecimento dos participantes em relação à sustentabilidade. 42,3% (11/26) informaram possuir um nível de conhecimento Médio, 38,5% (10/26) informaram um Baixo conhecimento, 7,7% (2/26) possuem um Alto conhecimento no assunto e 11,5% (3/26) Nenhum.

Figura 40 – Avaliação com Alunos - Questão 5



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.3.2 Avaliação do Catálogo NFR4SUSTAIN

A segunda seção do questionário tratou em avaliar a compreensão e utilidade do catálogo por parte dos participantes da pesquisa.

- **Questão 6 - O catálogo é de fácil entendimento.**

A Figura 41 ilustra o entendimento dos participantes em relação ao catálogo. Em que 50% (13/26) concordam totalmente que o catálogo é de fácil entendimento, 42,3% (11/26) concordam parcialmente e 7,7% (2/26) tem uma opinião neutra.

Figura 41 – Avaliação com Alunos - Questão 6

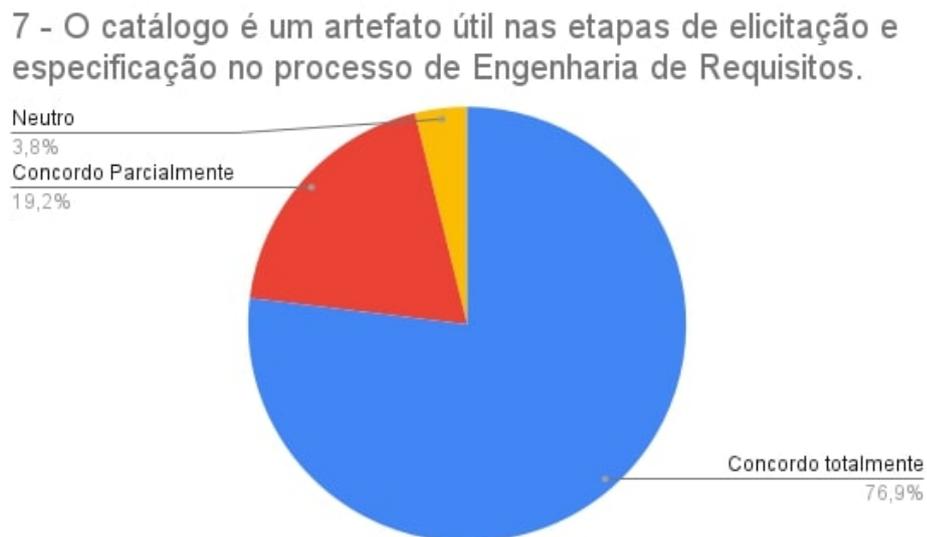


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

- **Questão 7 - O catálogo é um artefato útil nas etapas de elicitação e especificação no processo de Engenharia de Requisitos**

Na Figura 42 temos a avaliação da utilidade do catálogo nas etapas de elicitação e especificação de requisitos. Grande maioria, 76,9% (20/26), responderam que concordam totalmente, 19,2% (5/26) afirmaram que concordam parcialmente e somente 3,8% (1/26) tem uma opinião neutra sobre a utilidade do catálogo.

Figura 42 – Avaliação com Alunos - Questão 7



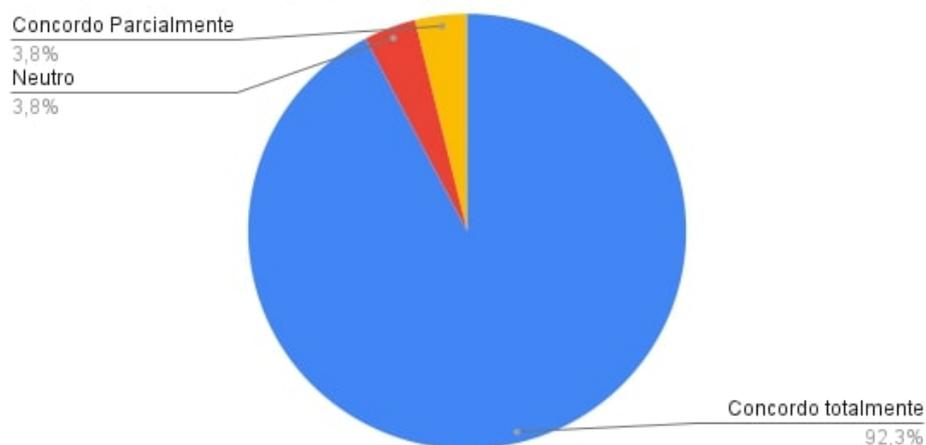
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

- **Questão 8 - Os Requisitos Não-Funcionais apresentados no catálogo são pertinentes a projetos que envolvam sustentabilidade.**

A Figura 43 mostra que a maioria dos participantes, 92,3% (24/26), concorda totalmente que o requisitos não-funcionais presentes no catálogo são pertinentes para sustentabilidade em projetos de software. Somente 3,8% (1/26) concordam parcialmente e 3,8% (1/26) tem uma opinião neutra.

Figura 43 – Avaliação com Alunos - Questão 8

8 - Os Requisitos Não-funcionais apresentados no catálogo são pertinentes a projetos que envolvam sustentabilidade.



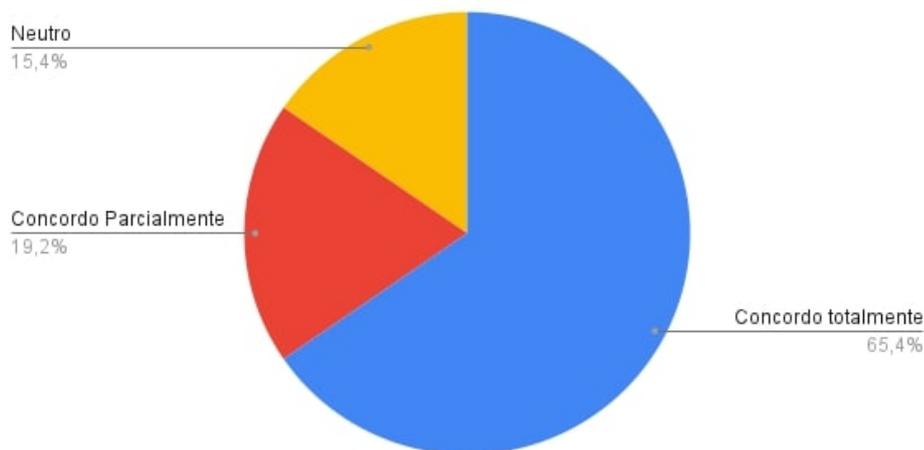
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

- **Questão 9 - As correlações apresentadas no catálogo são condizentes com a realidade de projetos que envolvem sustentabilidade.**

A Figura 44 exibe que 65,4% (17/26) dos participantes concordam totalmente que as correlações apresentadas são condizentes com a realidade. Enquanto, 19,2% (5/26) responderam concordar parcialmente com essa afirmação e 15,4% (4/26) responderam que têm uma opinião neutra.

Figura 44 – Avaliação com Alunos - Questão 9

9 - As correlações apresentadas no catálogo são condizentes com a realidade de projetos que envolvem sustentabilidade.



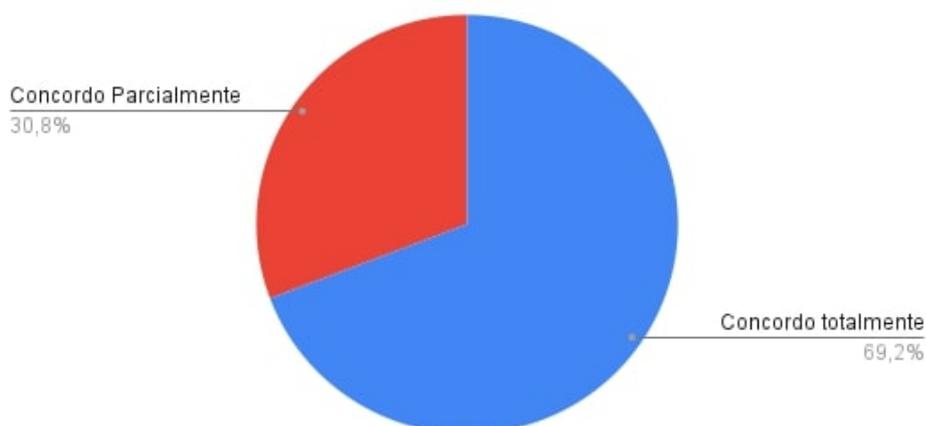
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

▪ Questão 10 - Os requisitos do catálogo apresentam definições adequadas

Na Figura 45 é apresentado o grau de concordância quanto a afirmação dos requisitos do catálogo possuírem definições adequadas. 69,4% (18/26) dos participantes concordam totalmente com essa afirmação, enquanto cerca de 30,8% (8/26) concordam parcialmente.

Figura 45 – Avaliação com Alunos - Questão 10

10 - Os requisitos do catálogo apresentam definições adequadas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

- **Questão 11 - Eu utilizaria o catálogo em projetos futuros de desenvolvimento.**

A Figura 46 mostra que 73,1% (19/26) dos participantes concordam totalmente que usariam o catálogo em projetos futuros de desenvolvimento, 19,2% (5/26) concordam parcialmente e 7,7% (2/26) responderam como neutro.

Figura 46 – Avaliação com Alunos - Questão 11



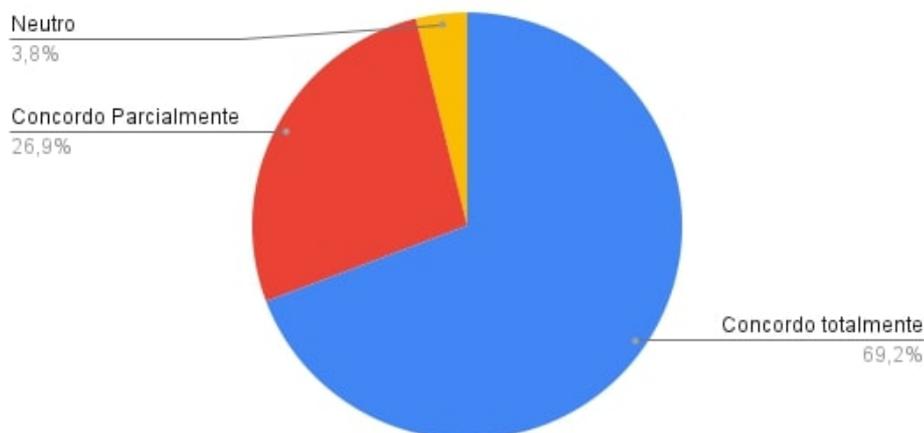
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

- **Questão 12 - Eu recomendaria a outras pessoas a utilização do catálogo em projetos.**

Na Figura 47 é ilustrado o grau de concordância dos participantes em relação se eles recomendariam o catálogo para outras pessoas. 69,2% (18/26) responderam que concordavam totalmente, 26,9% (7/26) concordam parcialmente e somente 3,8% (1/26) responderam como neutro.

Figura 47 – Avaliação com Alunos - Questão 12

12 - Eu recomendaria a outras pessoas a utilização do catálogo em projetos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.3.3 Opiniões e Sugestões de Melhoria

Por último, a seção 3 do questionário teve como foco obter comentários e sugestões dos participantes. Todas as questões dessa seção foram abertas e livre para os participantes responderem ou não.

▪ Questão 13 - Você acha que esse catálogo pode ser utilizado para projetar uma aplicação sustentável?

Cerca de 24 participantes responderam essa pergunta. A seguir são organizados as respostas de acordo com os aspectos mais citados:

- 100% dos participantes responderam essa questão positivamente.
- 86,9% (20/23) responderam 'Sim'
- 4,34% (1/23) respondeu 'Com certeza!'
- 4,34% (1/23) respondeu 'Concordo'
- 4,34% (1/23) respondeu 'Pode ser utilizado.'
- Ademais, alguns participantes completaram suas afirmações com:

- * 'Sim, pois além de tratar dos pontos básicos da sustentabilidade, acrescenta os vieses sociais e econômicos que estão totalmente ligados aos interesses de desenvolvimento de uma aplicação.'
- * 'Acredito que sim, o catálogo concentra *insights* relevantes, tornando uma ferramenta útil na etapa de projeção.'
- * 'Sim, porque o catálogo traz diversos aspectos que podem dar um maior direcionamento a um projeto que se propõe a ser sustentável e reúne requisitos essenciais para esse propósito.'
- * 'Sim, percebo que esse catálogo pode servir como um apoio para construir NFR de sistemas mais sustentáveis, principalmente para projetos onde a sustentabilidade ainda não é uma realidade, mas precisa ser adotada.'

▪ **Questão 14 - Há algum requisito que você gostaria de modificar ou acrescentar no catálogo?**

Nesta questão 21 participantes contribuíram com suas opiniões, que são descritas a seguir:

- 80,9% (17/21) dos participantes responderam 'Não' possuir nenhum requisito que gostariam de modificar.
- Alguns dos participantes expressaram suas sugestões para melhorar o catálogo, tais como:
 - * 'Acrescentaria requisitos de privacidade e de gestão ágil'
 - * 'Senti falta de algumas especificações relacionados à Justiça, principalmente no aspecto de sustentabilidade social para a softgoal de Justiça'
 - * 'Acredito que detalhar os requisitos de eficiente e eficácia melhoraria o entendimento da dimensão econômica'
 - * 'O número 12 de Justiça poderia ser mais "explicado".'

▪ **Questão 15 - Há alguma interdependência que você gostaria de modificar ou acrescentar no catálogo?**

19 participantes se propuseram a responder essa questão com suas opiniões.

- 84,2% (16/19) dos participantes responderam que 'Não' têm nenhuma interdependência que gostariam de modificar.

- Dois participantes acrescentaram as seguintes sugestões e dúvidas:
 - * 'Acredito que uma correlação entre as dimensões facilitaria promover a motivação de uso no projeto. Ex: manutenibilidade da dimensão técnica com investimento (não detalhado no catálogo) da dimensão econômica'
 - * 'Existem softgoals que ao existirem simultaneamente, podem impactar negativamente em algum outro aspecto? Por exemplo, algum aspecto de segurança pode impactar negativamente aspectos da eficácia/eficiência? A NFR de flexibilidade na árvore de sustentabilidade econômica/técnica pode impactar negativamente a confiança?'
- Um participante acrescentou que: 'O catálogo está bem estruturado'

▪ **Questão 16 - Existem outras modificações que podem ser feitas para melhorar o catálogo? Quais?**

Nesta questão, 18 dos participantes contribuíram com opiniões para a avaliação.

- 72,2% (13/18) dos participantes responderam que 'Não'.
- Os demais participantes contribuíram com as seguintes opiniões:
 - * 'O catálogo parece claro e objetivo. Acredito que o aperfeiçoamento pode ser feito nas explicações das relações para não ocasionar ambiguidade de interpretações.'
 - * 'Essas árvores (técnica, social, econômica) em algum momento, podem ter interdependências entre si? por exemplo, aspectos de sustentabilidade técnica que favorecem/desfavorecem aspectos sociais ou econômico, por exemplo? seria interessante ter essa visão. Não sei se é algo fora do escopo da pesquisa.'
 - * 'Eu achei que o catálogo está bem completo de uma modo geral, mas também acho que as definições da parte de sustentabilidade técnica não estão tão claros talvez para uma pessoa menos técnica.'
 - * 'O catálogo está bem estruturado. Apenas sugiro inclusão de requisitos de privacidade e de gestão ágil'
 - * '“Linkar” as interdependências entre os requisitos para quando clicar em um ser direcionado para ele.'

4.3.4 Discussão Sobre os Resultados

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.

Tabela 8 – Conhecimento dos participantes

Perguntas	Resultados
1 - Qual a sua maior formação?	Graduação – 53,8% Especialização – 3,8% Mestrado – 11,5% Doutorado Incompleto – 3,8% Não Possui Formação – 11,5%
2 - Como você definiria seu nível de conhecimento em elicitação e especificação de requisitos?	Baixo – 30,8% Médio – 46,2% Alto – 23,1%
3 - Quantos anos de experiência você tem em elicitação e especificação de requisitos?	Entre 0 e 2 anos – 76,9% Entre 2 e 5 anos – 11,5% Entre 5 e 10 anos - 7,7% Mais de 10 anos – 3,8%
4 - Como você definiria seu nível de conhecimento em NFR Framework?	Nenhum – 23,1% Baixo – 50% Médio – 26,9%
5 - Como você definiria seu nível de conhecimento em sustentabilidade?	Nenhum – 11,5% Baixo – 38,5% Médio – 42,3% Alto – 7,7%

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Os resultados das perguntas abordando a qualidade do catálogo se mostraram positivas e satisfatórias, demonstrando que os requisitos foram validados de maneira positiva e agregam valor a sustentabilidade de sistemas de software.

Tabela 9 – Utilidade e qualidade do catálogo

Perguntas	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Neutro	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
6 - O catálogo é de fácil entendimento.	-	-	7,7%	43,3%	50%
7 - O catálogo é um artefato útil nas etapas de elicitação e especificação no processo de Engenharia de Requisitos.	-	-	3,8%	19,2%	76,9%
8 - Os Requisitos Não-funcionais apresentados no catálogo são pertinentes a projetos que envolvam sustentabilidade.	-	-	3,8%	3,8%	92,3%
9 - As correlações apresentadas no catálogo são condizentes com a realidade de projetos que envolvem sustentabilidade.	-	-	15,4%	19,2%	65,4%
10 - Os requisitos do catálogo apresentam definições adequadas.	-	-	-	30,8%	69,2%
11 - Eu utilizaria o catálogo em projetos futuros de desenvolvimento.	-	-	7,7%	19,2%	73,1%
12 - Eu recomendaria a outras pessoas a utilização do catálogo em projetos.	-	-	3,8%	26,9%	69,2%

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Na seção 3, a grande maioria dos entrevistados avaliou o catálogo de forma positiva, bem como deixaram em evidência algumas questões importantes para melhoria e evolução do catálogo, que serão levados em consideração para a evolução da pesquisa, tais como:

- Adicionar requisitos de privacidade e de gestão ágil;
- Refinamento do requisito de Justiça;
- Refinamento do requisito de Eficácia;
- Refinamento do requisito de Eficiência;
- Adicionar correlações entre as dimensões.

4.3.5 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. 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 método adotado para aplicar a avaliação pode ter sido ineficiente, afetando negativamente os participantes, podendo ter causado sentimentos de pressão, desmotivação ou cansaço. Outro fator relevante é o formulário empregado, o qual pode conter informações ou questões ambíguas;
3. Validade externa. Em relação à 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.

4.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Nesse capítulo, na seção 4.1, foi demonstrado a aplicação do catálogo NFR4SUSTAIN em um sistema real através de uma Prova de Conceito. A partir do sistema escolhido, foram identificados todos os requisitos presentes no catálogo que o sistema satisfaz. A ilustração foi exibida em formato de um SIG, contendo seus requisitos, relacionamentos e operacionalizações. Com isso, foi exposto à utilização do catálogo e possíveis operacionalizações refinadas dos requisitos para sustentabilidade.

Em seguida, na seção 4.2 foram descritas as entrevistas realizadas com especialistas no domínio de sustentabilidade e engenharia de requisitos para avaliação do catálogo. Por último, na seção 4.3 foi exibido a avaliação realizada com estudantes de graduação e pós-graduação.

5 CONCLUSÃO

Este capítulo têm como propósito pontuar as considerações finais sobre os principais conteúdos presentes nessa dissertação. Para isso é apresentado os trabalhos relacionados que têm alguma proximidade com a pesquisa trabalhada nessa dissertação, como também são expostas às contribuições atingidas nesse estudo e sugestões para trabalhos futuros.

5.1 TRABALHOS RELACIONADOS

De acordo com Bambazek, Groher e Seyff (2023) o desenvolvimento de catálogos de requisitos para sustentabilidade ainda é uma abordagem recente na área de engenharia de requisitos, revelando que existem muitas lacunas para serem exploradas. Portanto, é importante a construção de um catálogo de requisitos para sustentabilidade capaz de apoiar a implementação das demandas da sustentabilidade aos projetos de software e os introduzir aos demais requisitos primários.

Moreira et al. (2023) desenvolveram um catálogo de requisitos para 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 com a modelagem iStar (DALPIAZ; FRANCH; HORKOFF, 2016). 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). Por fim, o catálogo foi aplicado em um projeto real para demonstrar sua utilização. Sua maior contribuição foi a adição dos requisitos de Justiça e Legislação ao catálogo, que não estão presentes na ISO/IEC 25010 (2011), como também a ilustração de uma ferramenta factível para levantamento de requisitos.

Condori-Fernandez e Lago (2018) buscaram identificar os requisitos de qualidade relevantes para as dimensões econômica, técnica, social e ambiental. Os requisitos foram identificados através de uma lista de verificação criada a partir da ISO/IEC 25010 (2011). Em seguida foi aplicado um questionário para mensurar o nível de contribuição de cada requisito para sua determinada dimensão, aplicado a engenheiros de requisitos, arquitetos de software, profissionais de TIC e gerentes de projeto. A pesquisa permitiu gerar uma lista de cada dimensão

com os requisitos que mais contribuem em forma decrescente, assim proporcionando conceber uma certa priorização de requisitos. Outra contribuição, foi o reconhecimento de dependências diretas entre as dimensões.

Em comparação, nosso estudo investigou uma dimensão a mais que as expostas em Moreira et al. (2023), a dimensão econômica. Bem como, elaborou cartões de especificação para melhorar o entendimento dos requisitos presentes no catálogo e foram descobertos requisitos que pertencem a duas ou mais dimensões ao mesmo tempo. Outro ponto de destaque deste estudo foi a ilustração do catálogo com exemplos de operacionalizações. Já no estudo de Condori-Fernandez e Lago (2018), eles só representaram os requisitos em forma de tabela e não contam com nenhum cartão de especificação ou outro meio de exemplificar e explicar os requisitos encontrados.

Tabela 10 – Comparação dos Trabalhos Relacionados

Trabalhos	Representação do Catálogo	Cartões de Especificação	Interdependências	Operacionalizações	Dimensões	Avaliação
(MOREIRA et al., 2023)	iStar	Não	Sim	Não	Social e Técnica	Questionário e Prova de Conceito
(CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018)	N/A	Não	Não	Não	Ambiental, Econômica, Social e Técnica	Questionário
NFR4SUSTAIN	NFR Framework	Sim	Sim	Sim	Econômica, Social e Técnica	Prova de Conceito, Entrevistas e Questionário

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

5.2 RESULTADOS

Por meio da pesquisa realizada nesse trabalho foi possível responder as seguintes questões de pesquisa:

- **Como desenvolver um catálogo de requisitos para sustentabilidade das dimensões econômica, social e técnica?**

O processo criado para o desenvolvimento do catálogo contém 3 fases e 6 tarefas. Este processo é apresentado na Figura 16. Suas tarefas podem ser consultados com mais detalhes na seção 3.1.

- **Quais requisitos para sustentabilidade das dimensões econômica, social e técnica devem ser considerados?**

Como resultado do levantamento de requisitos, foram descobertos cerca de 55 requisitos para sustentabilidade ao todo. Desses, 16 requisitos são classificados como requisitos principais, enquanto 39 requisitos são classificados como secundários (refinamentos). Em relação às dimensões de sustentabilidade, a dimensão econômica possui 10 requisitos principais, a dimensão social possui 9 requisitos principais, e por fim, a dimensão técnica possui 14 requisitos principais. Todos os requisitos de qualidade e suas características foram apresentados no Capítulo 3.

▪ **Quais são as interdependências entre os requisitos para sustentabilidade das dimensões econômica, social e técnica?**

Foram encontrados 16 interdependências entre os requisitos, com grande maioria de contribuições positivas. Todas as interdependências são apresentadas na Seção 3.2 e também podem ser visualizadas nos SIGs desenvolvidos na pesquisa (Figura 18, Figura 19 e Figura 20).

▪ **Qual a percepção de usuários quanto ao catálogo proposto?**

O catálogo obteve uma avaliação positiva por partes usuários que o avaliaram, sendo eles: especialistas no domínio de sustentabilidade e requisitos (subseção 4.2) e estudantes do curso de engenharia de requisitos (subseção 4.3). Também foi possível verificar pontos importantes a serem melhorados em trabalhos futuros.

5.3 CONTRIBUIÇÕES

Essa dissertação realizou um levantamento de requisitos para sustentabilidade das dimensões econômica, social e técnica. Como contribuição temos um catálogo para sustentabilidade capaz de auxiliar o desenvolvimento de softwares sustentáveis, indicando quais requisitos deve-se levar em consideração ao projetar e desenvolver sistemas alinhados as diretrizes de sustentabilidade. O catálogo conta com todos os relacionamentos e refinamentos entre os requisitos necessários para tentar alcançar a sustentabilidade, servindo também para expressar a complexidade inerente que a sustentabilidade possui.

Nesse trabalho também foram elaborados cartões de especificação com todas as informações fundamentais sobre os requisitos presentes no catálogo. Os cartões tem como objetivo principal servirem como fonte de dados para melhorar a compreensão dos requisitos e permi-

tir sua rastreabilidade. Outra contribuição para melhorar a percepção sobre sustentabilidade, foi a ilustração do catálogo, através de uma Prova de Conceito, em uma aplicação real com exemplos de operacionalizações ligadas aos requisitos do catálogo. Também foram realizadas avaliações da qualidade e utilidade do catálogo desenvolvido, por meio de especialistas em requisitos e sustentabilidade, bem como com alunos de engenharia de requisitos.

5.4 TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados dessa pesquisa, a experiência adquirida para sua construção e as dificuldades e limitações encontradas, sugerem-se os seguintes trabalhos futuros para dar continuidade a essa pesquisa:

- Ampliação do catálogo e acréscimo das demais dimensões de sustentabilidade restantes (individual e ambiental).
- Verificar quais são os requisitos que podem ser considerados como prioridade em cada dimensão de sustentabilidade, assim como verificar qual a influência do domínio de aplicação na priorização de requisitos para sustentabilidade. Elaborando assim uma possível priorização entre os requisitos presentes no catálogo.
- Refinar todos os requisitos que estão sem requisitos secundários (tais como: Eficiência, Eficácia, Justiça, etc.).
- Aplicar o catálogo em outros contextos e sistemas para que se possa obter mais exemplos de operacionalizações de todos os requisitos presentes no catálogo.
- Realizar avaliações com uma quantidade maior de engenheiros de requisitos e especialista em sustentabilidade.
- Aplicar o catálogo NFR4SUSTAIN em um sistema real desde suas primeiras fases de desenvolvimento.
- Desenvolver uma ferramenta para facilitar a aplicação do catálogo de acordo com o domínio do projeto, no qual permita a escolha de requisitos pertinentes ao projeto.
- Avaliar o potencial de adoção do catálogo em processos que adota métodos ágeis.
- Mapear requisitos para sustentabilidade a partir de valores humanos.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa abordou o desenvolvimento de um catálogo de requisitos para 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 elaboração do catálogo. Após sua construção, foi realizado uma avaliação da qualidade e utilidade do catálogo com alunos de uma turma da graduação e duas turmas da pós-graduação, que estavam cursando a disciplina de engenharia de requisitos em seus respectivos cursos. Sua ilustração de uso foi construída em volta da aplicação do catálogo no sistema da Moeda Capiba. Por último realizou-se a avaliação com especialistas do domínio de sustentabilidade e com especialistas em engenharia de requisitos, com a finalidade de avaliar a qualidade do catálogo e possíveis melhorias.

O capítulo 1 abordou todo o contexto geral da pesquisa, demonstrando qual sua motivação, relevância e quais questões deseja solucionar. Também foram descritos o objetivo geral e objetivos específicos, assim como também toda a metodologia empregada nesse estudo, com todos os passos e tarefas que foram seguidos para construção dessa pesquisa.

No capítulo 2 toda a fundamentação teórica que serviu como base fundamental para essa pesquisa foi apresentada. Foram decorridos os principais assuntos sobre Requisitos Não-Funcionais, sua definição, características e classificação. Após, foi explicado o funcionamento e elementos do NFR Framework. Por fim, foram apresentados os conceitos relacionados à sustentabilidade de software.

No capítulo 3 foi exibido todo o processo de construção do catálogo NFR4SUSTAIN, bem como foram evidenciados todos os principais componentes do catálogo de requisitos, como seus refinamentos e interdependências. Foram desenvolvidos três SIGs representado cada uma das dimensões de sustentabilidade abordadas. De forma complementar, também foram elaborados cartões de especificação de cada requisito presente no catálogo com todas as características crucias para sua compreensão, permitindo também seu rastreamento.

No capítulo 4 temos as avaliações realizadas para determinar a qualidade e utilidade do catálogo NFR4SUSTAIN. Primeiramente realizou-se uma PoC com a aplicação do catálogo em uma aplicação real, no qual foram elucidados possíveis operacionalizações advindos dos requisitos para sustentabilidade. Em seguida foram evidenciados as entrevistas realizadas, através de Google Meet, com especialistas em sustentabilidade e engenheiros de requisitos. Foram coletadas as opiniões e sugestões dos especialistas entrevistados. Na última avaliação, foram

efetuadas dinâmicas com estudantes da graduação e pós-graduação, no qual foram explicados os conceitos fundamentais da sustentabilidade e apresentado o catálogo de requisitos proposto, ao final foi solicitado que os alunos respondessem um questionário sobre a qualidade do catálogo.

Dessa maneira, é concluído que o objetivo deste estudo foi satisfeito, tendo em vista que o catálogo NFR4SUSTAIN foi desenvolvido e avaliado com sucesso. É esperado que o catálogo proposto facilite a incorporação e identificação de requisitos que apoiam a sustentabilidade em projetos de desenvolvimento de software. Além disso, a possibilidade de servir como um artefato que pode ser utilizado nas etapas de elicitação e especificação de requisitos, bem como fonte de referência para seleção de sistemas adequados com base em requisitos para sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, R. Software sustainability practices and awareness amongst software practitioners in malaysia: An exploratory study. In: IEEE. *2022 2nd International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS)*. [S.l.], 2022. p. 192–197.
- ANDRADE, M. de. *Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação*. [S.l.]: Atlas, 2010. ISBN 978-85-224-5856-1.
- BAMBAZEK, P.; GROHER, I.; SEYFF, N. Sustainability in agile software development: A survey study among practitioners. In: IEEE. *2022 International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S)*. [S.l.], 2022. p. 13–23.
- BAMBAZEK, P.; GROHER, I.; SEYFF, N. Requirements engineering for sustainable software systems: a systematic mapping study. *Requirements Engineering*, Springer, v. 28, n. 3, p. 481–505, 2023.
- BECKER, C.; BETZ, S.; CHITCHYAN, R.; DUBOC, L.; EASTERBROOK, S. M.; PENZENSTADLER, B.; SEYFF, N.; VENTERS, C. C. Requirements: The key to sustainability. *IEEE Software*, IEEE, v. 33, n. 1, p. 56–65, 2015.
- BECKER, C.; CHITCHYAN, R.; DUBOC, L.; EASTERBROOK, S.; PENZENSTADLER, B.; SEYFF, N.; VENTERS, C. C. Sustainability design and software: The karlskrona manifesto. In: IEEE. *2015 IEEE/ACM 37th IEEE International Conference on Software Engineering*. [S.l.], 2015. v. 2, p. 467–476.
- BETZ, S.; PENZENSTADLER, B.; DUBOC, L.; CHITCHYAN, R.; KOCÁK, S. A.; BROOKS, I.; OYEDEJI, S.; PORRAS, J.; SEYFF, N.; VENTERS, C. C. Lessons learned from developing a sustainability awareness framework for software engineering using design science. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, ACM New York, NY, 2024.
- BOEHM, B. W.; BROWN, J. R.; LIPOW, M. Quantitative evaluation of software quality. In: *Proceedings of the 2nd international conference on Software engineering*. [S.l.: s.n.], 1976. p. 592–605.
- BRUNDTLAND, G. H. Our common future world commission on environment and development. 1987.
- CALERO, C.; PIATTINI, M. Puzzling out software sustainability. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, Elsevier, v. 16, p. 117–124, 2017.
- CAMBOIM, K.; ALENCAR, F. M. Requisitos não funcionais e sustentabilidade para computação em nuvem: uma revisão sistemática da literatura. *WER*, 2018.
- CHITCHYAN, R.; BECKER, C.; BETZ, S.; DUBOC, L.; PENZENSTADLER, B.; SEYFF, N.; VENTERS, C. C. Sustainability design in requirements engineering: state of practice. In: *Proceedings of the 38th International Conference on Software Engineering Companion*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 533–542.
- CHUNG, L.; NIXON, B. A.; YU, E.; MYLOPOULOS, J. *Non-functional requirements in software engineering*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2000. v. 5.

- CLELAND-HUANG, J.; SETTIMI, R.; ZOU, X.; SOLC, P. Automated classification of non-functional requirements. *Requirements engineering*, Springer, v. 12, p. 103–120, 2007.
- COHEN, J.; KATZ, D. S.; BARKER, M.; HONG, N. C.; HAINES, R.; JAY, C. The four pillars of research software engineering. *IEEE Software*, v. 38, n. 1, p. 97–105, 2021.
- CONDORI-FERNANDEZ, N.; LAGO, P. Characterizing the contribution of quality requirements to software sustainability. *Journal of systems and software*, Elsevier, v. 137, p. 289–305, 2018.
- CYSNEIROS, L.; YU, E.; LEITE, J. Cataloguing non-functional requirements as softgoal networks. In: *Proceedings of the REAA Workshop at the 11 th Requirements Engineering Conference*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 13–20.
- DALPIAZ, F.; FRANCH, X.; HORKOFF, J. *iStar 2.0 Language Guide*. 2016. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1605.07767>>.
- DAVIS, A. M. *Software requirements: objects, functions, and states*. [S.l.]: Prentice-Hall, Inc., 1993.
- DUBOC, L.; BETZ, S.; PENZENSTADLER, B.; KOCAK, S. A.; CHITCHYAN, R.; LEIFLER, O.; PORRAS, J.; SEYFF, N.; VENTERS, C. C. Do we really know what we are building? raising awareness of potential sustainability effects of software systems in requirements engineering. In: IEEE. *2019 IEEE 27th international requirements engineering conference (RE)*. [S.l.], 2019. p. 6–16.
- EASTERBROOK, S. From computational thinking to systems thinking: A conceptual toolkit for sustainability computing. In: ATLANTIS PRESS. *ICT for Sustainability 2014 (ICT4S-14)*. [S.l.], 2014. p. 235–244.
- EASTERBROOK, S. M. Climate change: a grand software challenge. In: *Proceedings of the FSE/SDP workshop on Future of software engineering research*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 99–104.
- FERNANDEZ, O. C.; LAGO, P. Using participatory technical-action-research to validate a software sustainability model. In: CEUR-WS. *6th International Conference on ICT for Sustainability, ICT4S 2019*. [S.l.], 2019. p. 1–10.
- GIL, A. *Como elaborar projetos de pesquisa*. [S.l.]: Atlas, 2017. ISBN 978-85-97-01292-7.
- GLINZ, M. Rethinking the notion of non-functional requirements. In: *Proc. Third World Congress for Software Quality*. [S.l.: s.n.], 2005. v. 2, p. 55–64.
- GLINZ, M. On non-functional requirements. In: IEEE. *15th IEEE international requirements engineering conference (RE 2007)*. [S.l.], 2007. p. 21–26.
- HELDAL, R.; NGUYEN, N.-T.; MOREIRA, A.; LAGO, P.; DUBOC, L.; BETZ, S.; COROAMĂ, V. C.; PENZENSTADLER, B.; PORRAS, J.; CAPILLA, R. et al. Sustainability competencies and skills in software engineering: An industry perspective. *Journal of Systems and Software*, Elsevier, p. 111978, 2024.
- HILTY, L. M.; AEBISCHER, B. Ict for sustainability: An emerging research field. *ICT innovations for Sustainability*, Springer, p. 3–36, 2015.
- IEEE. *IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology*. 1990. 1-84 p.

- IEEE. *IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications*. 1998. 1-40 p.
- ISO/IEC 25010. *ISO/IEC 25010:2011, Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models*. 2011.
- ISO/IEC 25010. *ISO/IEC 25010:2023(en), Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Product quality model*. 2023.
- KARITA, L.; MOURÃO, B. C.; MARTINS, L. A.; SOARES, L. R.; MACHADO, I. Software industry awareness on sustainable software engineering: a brazilian perspective. *Journal of Software Engineering Research and Development*, v. 9, p. 2–1, 2021.
- KOTONYA, G.; SOMMERVILLE, I. *Requirements engineering: processes and techniques*. [S.l.]: Wiley Publishing, 1998.
- KRUEGER, P.; SAUTNER, Z.; STARKS, L. T. The importance of climate risks for institutional investors. *The Review of Financial Studies*, Oxford University Press, v. 33, n. 3, p. 1067–1111, 2020.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Fundamentos de metodologia científica (8a. ed.)*. Grupo Gen - Atlas, 2017. ISBN 9788597010763. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=34nOtAEACAAJ>>.
- LARCKER, D. F.; WATTS, E. M. Where's the greenium? *Journal of Accounting and Economics*, Elsevier, v. 69, n. 2-3, p. 101312, 2020.
- MAIRIZA, D.; ZOWGHI, D.; NURMULIANI, N. An investigation into the notion of non-functional requirements. In: *Proceedings of the 2010 ACM symposium on applied computing*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 311–317.
- MCGUIRE, S.; SCHULTZ, E.; AYOOLA, B.; RALPH, P. Sustainability is stratified: Toward a better theory of sustainable software engineering. In: IEEE. *2023 IEEE/ACM 45th International Conference on Software Engineering (ICSE)*. [S.l.], 2023. p. 1996–2008.
- MILLER, R. E. *The Quest for Software Requirements*. [S.l.]: Mavenmark Books, 2009.
- MOREIRA, A.; ARAÚJO, J.; GRALHA, C.; GOULÃO, M.; BRITO, I. S.; ALBUQUERQUE, D. A social and technical sustainability requirements catalogue. *Data & Knowledge Engineering*, Elsevier, v. 143, p. 102107, 2023.
- 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*, Elsevier, v. 1, n. 4, p. 294–304, 2011.
- OED. *Oxford English Dictionary*. Oxford: Oxford University Press, 2023.
- OYEDEJI, S.; SEFFAH, A.; PENZENSTADLER, B. A catalogue supporting software sustainability design. *Sustainability*, MDPI, v. 10, n. 7, p. 2296, 2018.
- PENZENSTADLER, B. Infusing green: Requirements engineering for green in and through software systems. In: *RE4SuSy@ RE*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 44–53.
- PENZENSTADLER, B. From requirements engineering to green requirements engineering. *Green in software engineering*, Springer, p. 157–186, 2015.

PENZENSTADLER, B. Where attention goes, energy flows: enhancing individual sustainability in software engineering. In: *Proceedings of the 7th International Conference on ICT for Sustainability*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 139–146.

PENZENSTADLER, B.; FEMMER, H. A generic model for sustainability with process-and product-specific instances. In: *Proceedings of the 2013 workshop on Green in/by software engineering*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 3–8.

PENZENSTADLER, B.; RATURI, A.; RICHARDSON, D.; TOMLINSON, B. Safety, security, now sustainability: The nonfunctional requirement for the 21st century. *IEEE software*, IEEE, v. 31, n. 3, p. 40–47, 2014.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico - 2ª Edição*. [S.l.]: Editora Feevale, 2013. ISBN 9788577171583.

RATURI, A.; PENZENSTADLER, B.; TOMLINSON, B.; RICHARDSON, D. Developing a sustainability non-functional requirements framework. In: *Proceedings of the 3rd International Workshop on Green and Sustainable Software*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–8.

RIBEIRO, Q.; SANTOS, A.; OLIVEIRA, K.; CASTRO, J.; LENCASTRE, M. A view of the technical, individual, and social dimensions of sustainable software systems: A systematic literature review. In: *Proceedings of the 39th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2024. (SAC '24), p. 1169–1177. ISBN 9798400702433. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3605098.3636031>>.

SAPUTRI, T. R. D.; LEE, S.-W. Incorporating sustainability design in requirements engineering process: A preliminary study. In: SPRINGER. *Requirements Engineering Toward Sustainable World: Third Asia-Pacific Symposium, APRES 2016, Nagoya, Japan, November 10-12, 2016, Proceedings 3*. [S.l.], 2016. p. 53–67.

SOMMERVILLE, I.; SAWYER, P. *Requirements engineering: a good practice guide*. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc., 1997.

SOMMERVILLE, I. *Engenharia de software / Ian Sommerville; tradução Luiz Claudio Queiroz; revisão técnica Fábio Levy Siqueira. 10 ed.* São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2018.

VENTERS, C.; LAU, L.; GRIFFITHS, M.; HOLMES, V.; WARD, R.; JAY, C.; DIBSDALE, C.; XU, J. The blind men and the elephant: Towards an empirical evaluation framework for software sustainability. *Journal of Open Research Software*, Ubiquity Press, v. 2, n. 1, 2014.

VENTERS, C. C.; CAPILLA, R.; NAKAGAWA, E. Y.; BETZ, S.; PENZENSTADLER, B.; CRICK, T.; BROOKS, I. Sustainable software engineering: Reflections on advances in research and practice. *Information and Software Technology*, Elsevier, p. 107316, 2023.

VENTERS, C. C.; JAY, C.; LAU, L.; GRIFFITHS, M. K.; HOLMES, V.; WARD, R. R.; AUSTIN, J.; DIBSDALE, C. E.; XU, J. Software sustainability: The modern tower of babel. In: CEUR. *CEUR Workshop proceedings*. [S.l.], 2014. v. 1216, p. 7–12.

WAYCHAL, P.; CAPRETZ, L. F.; JIA, J.; VARONA, D.; LIZAMA, Y. Practitioners' testimonials about software testing. In: IEEE. *2021 IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER)*. [S.l.], 2021. p. 582–589.

WINDEN, F. van. Affect and fairness in economics. *Social Justice Research*, Springer, v. 20, n. 1, p. 35–52, 2007.

WINKLER, T. Human values as the basis for sustainable software development. In: IEEE. *2018 IEEE International Symposium on Technology and Society (ISTAS)*. [S.l.], 2018. p. 37–42.

WINTER, E.; FORSHAW, S.; HUNT, L.; FERRARIO, M. A. Advancing the study of human values in software engineering. In: IEEE. *2019 IEEE/ACM 12th International Workshop on Cooperative and Human Aspects of Software Engineering (CHASE)*. [S.l.], 2019. p. 19–26.

APÊNDICE A – RASTREAMENTO DE REQUISITOS

Requisito Principal	Fonte	Requisito Secundário	Fonte
Adequação Funcional	ISO/IEC 25010, 2011; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023	Aprimoramento Funcional	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Correção Funcional	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Compleitude Funcional	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
Cobertura de Contexto	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023	Compleitude	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Flexibilidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
Compatibilidade	ISO/IEC 25010, 2011; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023	Interoperabilidade	ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023
		Coexistência	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
Confiabilidade	ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; PENZENSTADLER, 2014; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023	Disponibilidade	ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; PENZENSTADLER, 2014; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Recuperabilidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Tolerância a Falhas	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Maturidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
Desempenho	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023	Capacidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Comportamento Temporal	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Utilização de Recursos	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
Eficácia	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023		

Eficiência	ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; PENZENSTADLER, 2014; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023		
Extensibilidade	VENTERS et al., 2014; VENTERS et al., 2023; BETZ et al., 2024)		
Justiça	WINKLER, 2018; MOREIRA et al., 2023		
Manutenibilidade	ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; PENZENSTADLER, 2014; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; COHEN et al., 2021; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023; BETZ et al., 2024	Modificabilidade	ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023
		Reutilização	ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; WINKLER, 2018; CONDORIFERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023
		Modularidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023
		Testabilidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023
		Analísabilidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023
Mitigação de riscos	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023	Mitigação de Riscos Econômicos	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Mitigação de Riscos Ambientais	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Mitigação de Riscos de Saúde e Segurança	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Legislação	PENZENSTADLER, 2014; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)
Portabilidade	ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; PENZENSTADLER, 2014; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023	Adaptabilidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; BETZ et al., 2024
		Escalabilidade	ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; FERNANDEZ; LAGO, 2019; VENTERS et al., 2023; BETZ et al., 2024
		Instalabilidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; MOREIRA et al., 2023)
		Substitutibilidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023

Robustez	FERNANDEZ; LAGO, 2019; COHEN et al., 2021; VENTERS et al., 2023		
Satisfação	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023	Confiança	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; BETZ et al., 2024
		Utilidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
Segurança (Security)	ISO/IEC 25010, 2011; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; BETZ et al., 2024	Responsabilidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Autenticidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Confidencialidade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Integridade	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Sem Repúdio	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; MOREIRA et al., 2023
Usabilidade	ISO/IEC 25010, 2011; VENTERS et al., 2014; PENZENSTADLER, 2014; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; VENTERS et al., 2023; BETZ et al., 2024)	Reconhecimento de Adequação	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Acessibilidade	ISO/IEC 25010, 2011; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023
		Aprendizagem	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019
		Operabilidade	ISO/IEC 25010, 2011; WINKLER, 2018; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019
		Proteção Contra Erros do Usuário	ISO/IEC 25010, 2011; CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018; FERNANDEZ; LAGO, 2019

APÊNDICE B – RASTREAMENTO DE INTERDEPENDÊNCIAS

Requisito	Interdependências	Fonte
Confiabilidade	(+) Manutenibilidade	(MOREIRA et al., 2023)
Disponibilidade	(+) Recuperabilidade	(CONDORI-FERNANDEZ; LAGO, 2018)
	(+) Robustez	(MOREIRA et al., 2023)
	(+) Tolerância a Falhas	(MOREIRA et al., 2023)
	(+) Legislação	(MOREIRA et al., 2023)
Mitigação de Riscos Ambientais	(+) Legislação	(MOREIRA et al., 2023)
Mitigação de Riscos de Saúde e Segurança	(+) Legislação	(MOREIRA et al., 2023)
Confiança	(+) Segurança (Security)	(MOREIRA et al., 2023)
Responsabilidade	(+) Autenticidade	(MOREIRA et al., 2023)
	(-) Confidencialidade	(MOREIRA et al., 2023)
Integridade	(+) Autenticidade	(MOREIRA et al., 2023)
Adequação Funcional	(+) Testabilidade	(MOREIRA et al., 2023)
Aprimoramento Funcional	(+) Instalabilidade	(ISO/IEC 25010, 2023)
Confiabilidade	(+) Manutenibilidade	(ISO/IEC 25010, 2023; MOREIRA et al., 2023)
Modificabilidade	(+) Adaptabilidade	(MILLER, 2009; MOREIRA et al., 2023)
	(+) Modularidade	(ISO/IEC 25010, 2023)
	(+) Analisabilidade	(ISO/IEC 25010, 2023)

APÊNDICE C – TRANSPARÊNCIAS DA APRESENTAÇÃO - ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS

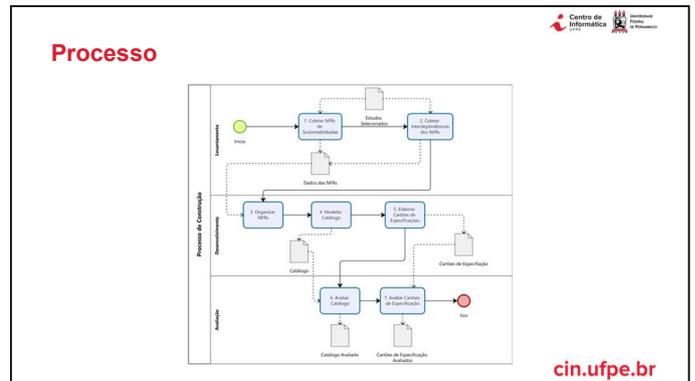
19/07/2024

NFR4SUSTAIN

Requisitos Não-Funcionais Para Sustentabilidade



1



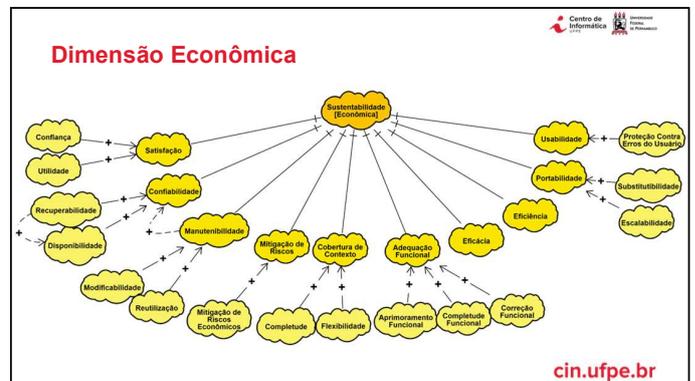
2

Construção

- Levantamento:
 - Técnica de snowballing em MOREIRA *et al.*, 2023
- Desenvolvimento:
 - Dimensões Econômica, Social e Técnica
 - NFR Framework
 - Cartões de Especificação

cin.ufpe.br

3



4

Mudanças - Dimensão Técnica

- Removido
 - Conforto e Prazer de Satisfação
- Adicionado
 - Segurança (de Integridade)
 - Usabilidade (de Proteção Contra Erros do Usuário)
 - Extensibilidade
 - Robustez
 - Escalabilidade em Portabilidade
 - Correlação positiva de Instalabilidade para Adequação Funcional
 - Correlação positiva de Analisabilidade e Modularidade para Modificabilidade
 - Correlação positiva de Robustez para Disponibilidade
 - Correlação positiva de Recuperabilidade para Disponibilidade
- Troca
 - Eficiência de Desempenho => Desempenho

cin.ufpe.br

9

Cartões de Especificação

<p>Nº 14.0 Nome Satisfação Descrição "Grau em que as necessidades do usuário são satisfeitas quando um produto ou sistema é usado em um contexto de uso específico" (ISO/IEC 26019:2013) Dimensões Econômica, Social e Técnica Fonte de Origem (ISO/IEC 26019:2013; CONDOM-FERNANDEZ, LAGO, 2018; FERNANDEZ, LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023) Atributo Ascendente - Atributo Descendente Confiança e Utilidade Interdependências -</p>	<p>Nº 14.1 Nome Confiança Descrição "Grau em que um usuário ou outra parte interessada tem confiança de que um produto ou sistema se comportará conforme prometido" (ISO/IEC 26019:2013) Dimensões Econômica, Social e Técnica Fonte de Origem (ISO/IEC 26019:2013; CONDOM-FERNANDEZ, LAGO, 2018; FERNANDEZ, LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; BETZ et al., 2024) Atributo Ascendente Satisfação Atributo Descendente - Interdependências 1:1 Segurança (Security)</p>	<p>Nº 14.2 Nome Utilidade Descrição "Grau em que um usuário está satisfeito com a realização percebida de metas pragmáticas, incluindo os resultados do uso e as consequências de uso" (ISO/IEC 26019:2013) Dimensões Econômica, Social e Técnica Fonte de Origem (ISO/IEC 26019:2013; CONDOM-FERNANDEZ, LAGO, 2018; FERNANDEZ, LAGO, 2019; BOKERA et al., 2023) Atributo Ascendente Satisfação Atributo Descendente - Interdependências -</p>
--	---	---

cin.ufpe.br

10

Cartões de Especificação

Link: <https://drive.google.com/file/d/1yzCKh6IDxRv6ugG77g6WCAhFLBEhkYSD/view?usp=sharing>



cin.ufpe.br

11

Você acha que esse catálogo pode ser utilizado para projetar uma aplicação sustentável?

cin.ufpe.br

12

19/07/2024



Há algum requisito que você gostaria de modificar ou acrescentar no catálogo?

cin.ufpe.br

13



Há alguma interdependência que você gostaria de modificar ou acrescentar no catálogo?

cin.ufpe.br

14



O que você acha que pode ser melhorado nos cartões de especificação?

cin.ufpe.br

15



Questionário

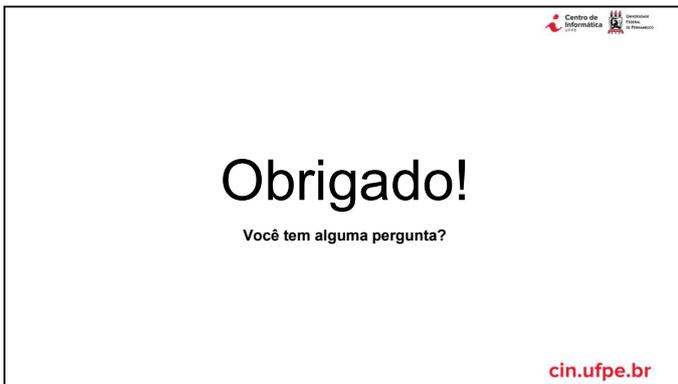
Link: <https://forms.gle/m3Vv77EPSbkHtuLU9>



cin.ufpe.br

16

19/07/2024



Obrigado!
Você tem alguma pergunta?

cin.ufpe.br

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO NFR4SUSTAIN

03/07/2024, 18:11

Avaliação do Catálogo NFR4SUSTAIN

Avaliação do Catálogo NFR4SUSTAIN

Esse questionário é um material de coleta de dados para avaliação do catálogo de sustentabilidade intitulado NFR4SUSTAIN, o questionário foi elaborado com o propósito de avaliar o catálogo em critérios de qualidade, compreensão e utilidade.

O questionário é composto em grande maioria por perguntas objetivas de múltipla escolha, não consumido mais do que 10 minutos para serem respondidas eficientemente, todos os dados coletados são de forma anônima.

Essa pesquisa é desenvolvida por pesquisadores vinculados ao programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informativa da Universidade Federal de Pernambuco (CIn - UFPE), para mais informações, dúvidas ou comentários entrar em contato com o seguinte endereço de e-mail: ajfs@cin.ufpe.br

O catálogo e os materiais de apoio estão disponíveis em:

https://drive.google.com/drive/folders/1P2EBQ4iRutWbmKJJ_tdP52pFgso6Pq-V?usp=drive_link

* Indica uma pergunta obrigatória

Nível de formação e conhecimento

Nessa seção são levantados o grau de conhecimento sobre elicitação e especificação de requisitos, NFR Framework e Sustentabilidade

1. 1 - Qual a sua maior formação? *

Marcar apenas uma oval.

- Graduação
- Especialização
- Mestrado
- Mestrado incompleto
- Doutorado
- Doutorado incompleto
- Pós-Doutorado
- Pós-Doutorado incompleto
- Não possui formação

03/07/2024, 18:11

Avaliação do Catálogo NFR4SUSTAIN

2. 2 - Como você definiria seu nível de conhecimento em **elicitación e especificación de requisitos**? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Baixo
- Médio
- Alto
- Muito Alto

3. 3 - Quantos anos de experiência você tem em **elicitación e especificación de requisitos**? *

Marcar apenas uma oval.

- Entre 0 e 2 anos
- Entre 2 e 5 anos
- Entre 5 e 10 anos
- mais de 10 anos

4. 4 - Como você definiria seu nível de conhecimento em **NFR Framework**? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Baixo
- Médio
- Alto
- Muito Alto

03/07/2024, 18:11

Avaliação do Catálogo NFR4SUSTAIN

5. 5 - Como você definiria seu nível de conhecimento em **Sustentabilidade**? *

Marcar apenas uma oval.

- Nenhum
- Baixo
- Médio
- Alto
- Muito Alto

Compreensão e Utilidade

Com base em seus conhecimentos e no catálogo apresentado, avalie a utilidade e qualidade do catálogo.

6. 6 - O catálogo é de fácil entendimento. *

Marcar apenas uma oval.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Neutro
- Concordo Parcialmente
- Concordo totalmente

7. 7 - O catálogo é um artefato útil nas etapas de elicitação e especificação no processo de Engenharia de Requisitos. *

Marcar apenas uma oval.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Neutro
- Concordo Parcialmente
- Concordo totalmente

03/07/2024, 18:11

Avaliação do Catálogo NFR4SUSTAIN

8. 8 - Os Requisitos Não-funcionais apresentados no catálogo são pertinentes a projetos que envolvam sustentabilidade. *

Marcar apenas uma oval.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Neutro
- Concordo Parcialmente
- Concordo totalmente

9. 9 - As correlações apresentadas no catálogo são condizentes com a realidade de projetos que envolvem sustentabilidade. *

Marcar apenas uma oval.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Neutro
- Concordo Parcialmente
- Concordo totalmente

10. 10 - Os requisitos do catálogo apresentam definições adequadas. *

Marcar apenas uma oval.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Neutro
- Concordo Parcialmente
- Concordo totalmente

03/07/2024, 18:11

Avaliação do Catálogo NFR4SUSTAIN

11. 11 - Eu utilizaria o catálogo em projetos futuros de desenvolvimento. *

Marcar apenas uma oval.

- Discordo totalmente
 Discordo parcialmente
 Neutro
 Concordo Parcialmente
 Concordo totalmente

12. 12 - Eu recomendaria a outras pessoas a utilização do catálogo em projetos. *

Marcar apenas uma oval.

- Discordo totalmente
 Discordo parcialmente
 Neutro
 Concordo Parcialmente
 Concordo totalmente

Recomendações e Sugestões

Com base em seus conhecimentos em engenharia de requisitos e sustentabilidade, gostaríamos de saber sua opinião e sugestões para o catálogo.

13. 13 - Você acha que esse catálogo pode ser utilizado para projetar uma aplicação sustentável?

03/07/2024, 18:11

Avaliação do Catálogo NFR4SUSTAIN

14. 14 - Há algum **requisito** que você gostaria de modificar ou acrescentar no catálogo?

15. 15 - Há alguma **interdependência** que você gostaria de modificar ou acrescentar no catálogo?

16. 16 - Existem outras modificações que podem ser feitas para melhorar o catálogo? Quais?

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

APÊNDICE E – APRESENTAÇÃO UTILIZADA NAS DINÂMICAS DE AVALIAÇÃO

03/07/2024



1



2



3



4

1

03/07/2024

Dimensões de Sustentabilidade



- Ambiental
- Social
- Econômica
- Individual
- Técnica

5

Dimensão Ambiental

- Proteção dos recursos naturais
- Consumo de energia
- Desperdício
- Reutilização de materiais
- Diminuição de poluentes

6

Dimensão Social

- Preservação da sociedade e das comunidades
- Confiança da sociedade
- Comunicação
- Justiça
- Emprego
- Equidade

7

Dimensão Econômica

- Manutenção dos ativos, do valor e do capital
- Prosperidade
- Rendimentos
- Investimentos

8

Dimensão Individual

- Manutenção do bem privado do capital humano
- Bem-estar individuais de cada pessoa
- Educação
- Saúde física e mental
- Mobilidade
- Conhecimento
- Liberdade

9

Dimensão Técnica

- Longevidade do sistema e infraestruturas
- Manutenção do sistema
- Desenvolvimento a longo prazo
- Inovação
- Obsolescência

10

Ordens de Efeito

- 
- Efeitos Diretos
 - Efeitos Indiretos
 - Mudanças Estruturais

11

Efeitos Diretos

- São os impactos que ocorrem imediatamente resultando da existência e uso do sistema.
- Ex: produção de lixo, gasto de energia.

12

Efeitos Indiretos

- Mudanças ocasionadas indiretamente pelo sistema, pelo uso contínuo do software, o qual muda a forma como fazemos algum processo ou tarefa.
- Ex: processos de produção ou de transporte.

13

Mudanças Estruturais

- Mudanças socioeconômicas ocasionadas a médio e longo prazo pelo uso do sistema.
- Ex: padrões de consumo.

14

02

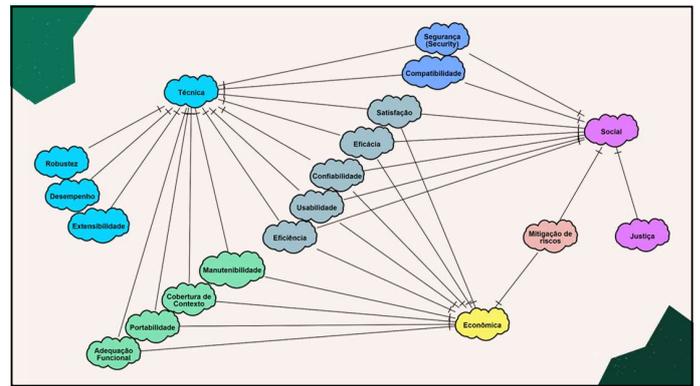
Catálogo NFR4SUSTAIN

15

Catálogo NFR4SUSTAIN

- Técnica de bola de neve em MOREIRA *et al.*, 2023
- NFR Framework
- Dimensões Econômica, Social e Técnica

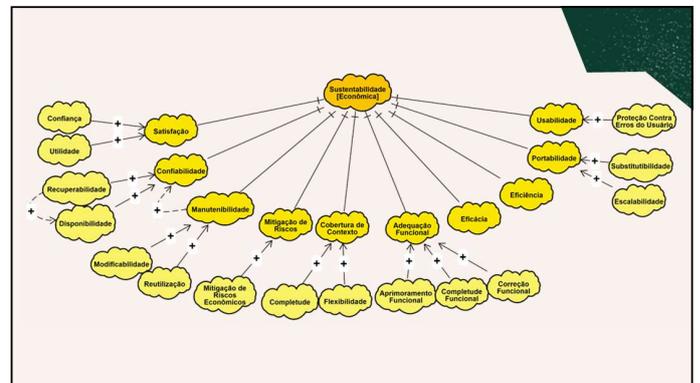
16



17

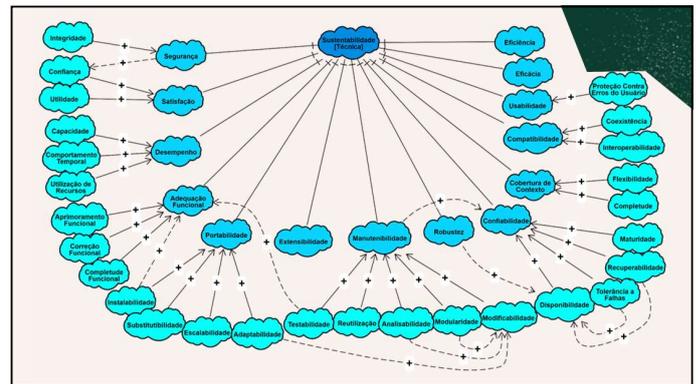
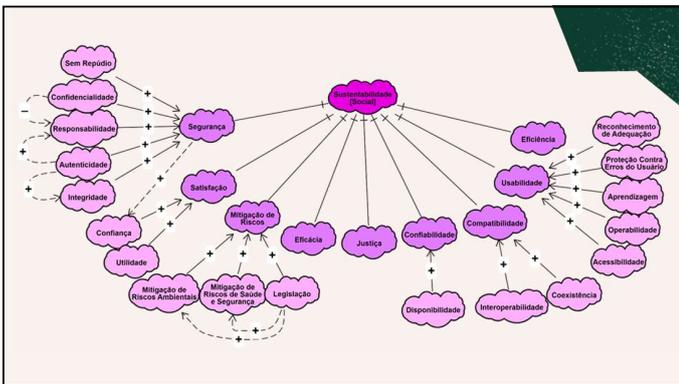
18

Atributo	Contribuições Indiretas
Adequação Funcional	(+) Testabilidade
Aprimoramento Funcional	(+) Instabilidade
Confiabilidade	(+) Manutenibilidade
Disponibilidade	(+) Robustez, (+) Tolerância a Falhas e (+) Recuperabilidade
Modificabilidade	(+) Adaptabilidade, (+) Modularidade e (+) Analisabilidade
Mitigação de Riscos Ambientais	(+) Legislação
Mitigação de Riscos de Saúde e Segurança	(+) Legislação
Confiança	(+) Segurança (Security)
Responsabilidade	(+) Autenticidade e (-) Confidencialidade
Integridade	(+) Autenticidade
Operabilidade	(+) Instabilidade



19

20



21

22

03

Cartões de Especificação

23

<p>Nº 14.0</p> <p>Nome Satisfação</p> <p>Descrição "Grau em que as necessidades do usuário são satisfeitas quando um produto ou sistema é usado em um contexto de uso específico" (ISO/IEC 25018, 2011)</p> <p>Dimensões Econômica, Social e Técnica</p> <p>Fonte de Origem (ISO/IEC 25018, 2011; KONDOH-FERNANDEZ, LAGO, 2018; FERNANDEZ, LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; BETZ et al., 2023)</p> <p>Atributo Ascendente -</p> <p>Atributo Descendente Confiança e Utilidade</p> <p>Interdependências -</p>	
<p>Nº 14.1</p> <p>Nome Confiança</p> <p>Descrição "Grau em que um usuário ou outra parte interessada tem confiança de que um produto ou sistema se comportará conforme pretendido" (ISO/IEC 25018, 2011)</p> <p>Dimensões Econômica, Social e Técnica</p> <p>Fonte de Origem (ISO/IEC 25018, 2011; KONDOH-FERNANDEZ, LAGO, 2018; FERNANDEZ, LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023; BETZ et al., 2023)</p> <p>Atributo Ascendente Satisfação</p> <p>Atributo Descendente -</p> <p>Interdependências (+) Segurança (Security)</p>	<p>Nº 14.2</p> <p>Nome Utilidade</p> <p>Descrição "Grau em que um usuário está satisfeito com a realização percebida de metas pragmáticas, incluindo os resultados do uso e as consequências do uso" (ISO/IEC 25018, 2011)</p> <p>Dimensões Econômica, Social e Técnica</p> <p>Fonte de Origem (ISO/IEC 25018, 2011; KONDOH-FERNANDEZ, LAGO, 2018; FERNANDEZ, LAGO, 2019; MOREIRA et al., 2023)</p> <p>Atributo Ascendente Satisfação</p> <p>Atributo Descendente -</p> <p>Interdependências -</p>

24

04

Avaliação

25

Questionário: <https://forms.gle/DkE3nBaeMFQ5aUAV8>

26

Referências

- Brundtland, G. H. 1987. Report Of The World Commission On Environment And Development? "Our Common Future."
- Becker, C., Chitghyan, R., Duboc, L., Easterbrook, S., Penzenstadler, B., Seyff, N., & Venters, C. C. 2015. Sustainability Design And Software: The Karlskrona Manifesto. 2015 IEEE/ACM 37th International Conference On Software Engineering, 2, Pp. 467-476.
- Condoni-Fernandez, N. & P. Lago. 2018. "Characterizing The Contribution Of Quality Requirements To Software Sustainability." 137: 289-305.
- Fernandez, N. C., P. Lago, M. R. Luaces, A. S. Places & L. G. Folgueira. 2019. "Using Participatory Technical-action-research To Validate a Software Sustainability Model." Ceur Workshop Proceedings.
- ISO/IEC 25010. 2011. "ISO/IEC 25010:2011, Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models."
- Moreira, A., J. Araújo, C. Graiha, M. Goulão, I. S. Brito & D. Albuquerque. 2023. "A Social And Technical Sustainability Requirements Catalogue." Data & Knowledge Engineering, 102107.

27

Obrigado!

Você tem alguma pergunta?

CREDITS: This presentation template was created by [Slidego](#), and includes icons by [FlatIcon](#), and infographics & images by [Freepik](#)

28