



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE QUIXADÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE SOFTWARE

ANDRÉ LUIS CARVALHO DA SILVA

**UMA ABORDAGEM BASEADA EM MODELOS DE REDE DE FORNECIMENTO DE
SOFTWARE PARA ANÁLISE DE SAÚDE E QUALIDADE DE ECOSISTEMAS DE
SOFTWARE**

QUIXADÁ
2025

ANDRÉ LUIS CARVALHO DA SILVA

UMA ABORDAGEM BASEADA EM MODELOS DE REDE DE FORNECIMENTO DE
SOFTWARE PARA ANÁLISE DE SAÚDE E QUALIDADE DE ECOSSISTEMAS DE
SOFTWARE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Software
do Campus de Quixadá da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia de Software.

Orientador: Prof. Me. Francisco Victor
da Silva Pinheiro.

QUIXADÁ

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S578a Silva, André Luis Carvalho da.
Uma abordagem baseada em modelos de rede de fornecimento de software para análise de saúde e qualidade de ecossistemas de software / André Luis Carvalho da Silva. – 2025.
93 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Engenharia de Software, Quixadá, 2025.
Orientação: Prof. Me. Francisco Victor da Silva Pinheiro.
1. Ecossistemas de software. 2. Rede de fornecimento de software. 3. Análise de saúde e qualidade. I. Título.

CDD 005.1

ANDRÉ LUIS CARVALHO DA SILVA

UMA ABORDAGEM BASEADA EM MODELOS DE REDE DE FORNECIMENTO DE
SOFTWARE PARA ANÁLISE DE SAÚDE E QUALIDADE DE ECOSISTEMAS DE
SOFTWARE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Software
do Campus de Quixadá da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia de Software.

Aprovada em: ____ 19 ____ / ____ 12 ____ / ____ 2025 ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Francisco Victor da Silva Pinheiro
(Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Emanuel Ferreira Coutinho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jefferson de Carvalho Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ma. Rhenara Alves Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Deus por ser um porto seguro em meio as tempestades da vida, à minha mãe por tudo que representa na minha vida, e a lembrança de minha avó.

AGRADECIMENTOS

A Deus Pai por ser luz e esperança em meio a momentos difíceis e de dúvida que surgiram ao longo de minha jornada.

A minha mãe, por ter me dado a vida e nunca ter me deixado faltar nada ao longo de toda minha vida, e me deu suporte durante todo meu período na graduação.

A minha avó, pelos bons momentos e lembranças felizes, além de compartilhar comigo a alegria de minhas conquistas.

Ao meu orientador, Prof. Me. Francisco Victor da Silva Pinheiro, pela orientação e pela ideia de tema que acabou se tornando mais que só um tema e sim minha própria área de interesse.

A Universidade Federal do Ceará — Campus Quixadá, na totalidade, aos professores, à coordenação do curso, à secretaria acadêmica, por todo o auxílio prestado por esses anos do meu período de graduação.

Por fim, agradeço a todos os poucos, mas que lembrarei com afeto, amigos que fiz durante essa minha jornada.

"Você ganha força, coragem e confiança a cada experiência em que realmente enfrenta o medo de frente. Você precisa fazer aquilo que acha que não consegue fazer."

(Eleanor Roosevelt.)

RESUMO

Este trabalho propõe uma abordagem para a análise da saúde e da qualidade de ecossistemas de software (ECOS), utilizando modelos *Software Supply Network* (SSN) como base para representar dependências, atores e fluxos comerciais presentes nesses ecossistemas. A pesquisa parte da lacuna existente na literatura quanto à ausência de métodos e ferramentas capazes de avaliar a saúde, robustez e qualidade técnica de ECOS, especialmente no que diz respeito à integração de métricas, modelagem e mecanismos de avaliação. A abordagem proposta integra conceitos de saúde e qualidade presentes na literatura, princípios definidos pelas normas ISO/IEC 25000 (SQuaRE) e métricas adaptadas ao contexto de ecossistemas, abrangendo aspectos como resiliência, sustentabilidade, produtividade e evolução. A implementação da abordagem foi incorporada à ferramenta *ECOS Modeling*, permitindo a visualização, análise e comparação de modelos SSN. Para validação, foi realizado um estudo de caso com o ecossistema SOLAR, no qual foi possível observar padrões de dependência, evolução, retenção de componentes e indicadores gerais de saúde e qualidade. A avaliação com especialistas demonstrou que a abordagem auxilia na compreensão estrutural dos ECOS, no monitoramento de sua evolução e na identificação de possíveis riscos ou pontos de melhoria. Dessa forma, este trabalho contribui para a ampliação das práticas de análise em ecossistemas de software e oferece uma base metodológica e ferramental que pode apoiar pesquisas futuras e a gestão efetiva desses ambientes sociotécnicos complexos.

Palavras-chave: Ecossistemas de *Software*; Saúde de ECOS; Qualidade de ECOS; Rede de fornecimento de software; ISO/IEC 25000; Modelagem.

ABSTRACT

This work proposes an approach for analyzing the health and quality of software ecosystems (SECO) by using Software Supply Network (SSN) models to represent dependencies, actors, and commercial flows within these ecosystems. The research addresses a gap in the literature regarding the absence of methods and tools capable of evaluating SECO health, robustness, and technical quality, especially concerning the integration of metrics, modeling practices, and assessment mechanisms. The proposed approach integrates concepts of health and quality found in existing studies, principles established by the ISO/IEC 25000 (SQuaRE) standards, and metrics adapted to the ecosystem context, including aspects such as resilience, sustainability, productivity, and evolution. The approach was implemented in the SECO Modeling tool, enabling visualization, analysis, and comparison of SSN models. To validate the proposal, a case study was conducted with the SOLAR ecosystem, allowing the observation of dependency patterns, evolution behaviors, component retention, and general indicators of health and quality. The evaluation with specialists demonstrated that the approach assists in understanding the structural composition of SECO, monitoring their evolution, and identifying potential risks or improvement opportunities. Therefore, this work contributes to advancing analysis practices in software ecosystems and provides both a methodological and tool-based foundation to support future research and the effective management of these complex sociotechnical environments.

Keywords: Software Ecosystems; SECO Health; SECO Quality; Software Supply Network; ISO/IEC 25000; Modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Descrição dos papéis e atores do ECOS.	21
Figura 2 – Descrição de Ativos em um ECOS.	21
Figura 3 – Modelo Conceitual de um ECOS Centrado em um <i>Keystone</i>	22
Figura 4 – As Três Dimensões dos ECOS.	23
Figura 5 – Componentes do Diagrama SSN.	27
Figura 6 – Níveis de Escopo de um Ecossistema de Software	29
Figura 7 – Diagrama Conceitual do Meta Modelo de ECOS	30
Figura 8 – Componentes do PDC	31
Figura 9 – Modelagem SSN do SOLAR ECOS	32
Figura 10 – Tela Principal da Ferramenta ECOS <i>Modeling</i>	38
Figura 11 – Tela da Parte de Modelagem SSN.	39
Figura 12 – Arquitetura e Componentes da Ferramenta.	40
Figura 13 – Processo de Análise de Evolução de um ECOS.	42
Figura 14 – ECOS SIPPA Versoes 1 e 2.	43
Figura 15 – Comparação Numérica e Percentual Entre as Versões do ECOS SIPPA.	44
Figura 16 – As Dependências Entre as 100 Bibliotecas Mais Baixadas no Ecossistema <i>Rust</i>	46
Figura 17 – Procedimentos para a execução do trabalho.	51
Figura 18 – Fluxo da abordagem para a análise da saúde e qualidade de ECOS.	56
Figura 19 – Dados Numéricos do Modelo Genérico versão 1	58
Figura 20 – Dados Numéricos do Modelo Genérico 2	59
Figura 21 – Gráfico de dados para a comparação dos modelos SSN genéricos	59
Figura 22 – Área da ferramenta responsável pela análise automatizada de saúde e qualidade.	68
Figura 23 – Exemplo de resultados individuais para uma versão do modelo SSN.	69
Figura 24 – Exemplo de gráficos comparativos entre versões.	70
Figura 25 – Exemplo de tabelas com as métricas calculadas e suas variações.	71
Figura 26 – Modelo SSN do ECOS SOLAR Versão 1.	73
Figura 27 – Modelo SSN do ECOS SOLAR Versão 2.	74
Figura 28 – Modelo SSN do ECOS SOLAR Versão 3.	74
Figura 29 – Comparação Numérica entre as versões do ECOS SOLAR.	76
Figura 30 – Gráficos de Quantidade de Componentes Entre as Versões e Gráfico de Taxa de Retenção do ECOS SOLAR.	77

Figura 31 – Tabela de Comparação Geral das Métricas Para o ECOS SOLAR.	77
Figura 32 – Tabela de Métricas Quantitativas Para o ECOS SOLAR.	78
Figura 33 – Gráficos Demográficos e de Conhecimento Prévio dos Participantes.	81
Figura 34 – Gráficos de Grau de Dificuldade, Esforço Mental, Utilidade e Atendimento aos Requisitos.	83
Figura 35 – Gráficos de Utilidade, Facilidade, Percepção e Compreensão dos Resultados da Análise.	84
Figura 36 – Gráficos de Satisfação e Facilidade de Interpretação dos Dados da Análise. .	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de ecossistemas de software	25
Quadro 2 – Princípios e Contramedidas de Extinção	48
Quadro 3 – Comparação entre os trabalhos relacionados e o trabalho proposto.	49
Quadro 4 – Métricas de Saúde de Ecossistemas de Software	60
Quadro 5 – Métricas de Qualidade Técnica de Ecossistemas de Software	62
Quadro 6 – Métricas Baseadas em Modelos SSN	63
Quadro 7 – Métricas de Evolução de Ecossistemas de Software	64
Quadro 8 – Métricas Quantitativas de Ecossistemas de Software	67
Quadro 9 – Métricas Qualitativas de Ecossistemas de Software	67
Quadro 10 – Dados numéricos básicos das versões do ECOS SOLAR	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CC	Ciência da Computação
CoI	Compainha de Interesse
ECOS	Ecossistema de Software
ECOSs	Ecossistemas de Software
ES	Engenharia de Software
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISV	<i>Independent Software Vendor</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
PDC	<i>Product Deployment Context</i>
PNG	<i>Portable Network Graphics</i>
PoI	<i>Product of Interest</i>
SEM	<i>Software Ecosystem Modeling Meta-model</i>
SI	Sistemas de Informação
SQuaRE	<i>System and Software Quality Requirements and Evaluation</i>
SSN	<i>Software Supply Network</i>
SVG	<i>Scalable Vector Graphics</i>
TAM	<i>Technology Acceptance Model</i>
UFC	Universidade Federal do Ceará
VAR	<i>Value-added Reseller</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	16
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	16
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Ecosistemas de Software	18
2.1.1	<i>Visão Geral</i>	18
2.1.2	<i>Atores, Papéis, e Relacionamentos</i>	19
2.1.3	<i>Dimensões e Classificação</i>	23
2.2	Software Supply Network - SSN	25
2.3	Modelagem de ECOS	28
2.4	Saúde e Qualidade de ECOS	33
2.5	ISO/IEC 25000 SQuaRE	36
2.6	ECOS Modeling - ferramenta de modelagem e repositório para modelos de ECOS	37
3	TRABALHOS RELACIONADOS	42
3.1	Uma Abordagem Baseada em Rede de Fornecimento de Software para Análise da Evolução de Ecosistemas de Software	42
3.2	Um Estudo Preliminar Sobre a Saúde de Ecosistemas de Software	44
3.3	Modelagem de Riscos Sociais e Técnicos interconectados em Ecosistemas de Software de Código Aberto	45
3.4	O seu ecossistema de software está em perigo? Prevenindo a morte do ecossistema através de lições sobre saúde do ecossistema	47
3.5	Comparação dos Trabalhos Relacionados com o Proposto	48
4	METODOLOGIA	51
4.1	Análise da literatura sobre ECOS, saúde, qualidade e modelagem	51
4.2	Identificar especificações de saúde e qualidade para ECOS	52
4.3	Propor métricas de saúde e qualidade	52
4.4	Propor a abordagem para avaliar a saúde e qualidade em ECOS	52
4.5	Implementar abordagem na ferramenta	53

4.6	Avaliar abordagem proposta	53
4.6.1	<i>Planejamento</i>	54
4.6.2	<i>Execução</i>	54
4.6.3	<i>Análise dos dados coletados</i>	54
5	ABORDAGEM DE ANÁLISE DE SAÚDE E QUALIDADE DE ECOS .	55
5.1	Abordagem	55
5.2	Dados Numéricos dos modelos SSN	57
5.3	Métricas de saúde e qualidade em ECOS	59
5.3.1	<i>Métricas de Saúde</i>	60
5.3.2	<i>Métricas de Qualidade</i>	62
5.3.3	<i>Métricas Baseadas em Modelos SSN</i>	62
5.3.4	<i>Métricas de Evolução</i>	64
5.3.5	<i>Métricas Quantitativas</i>	66
5.3.6	<i>Métricas Qualitativas</i>	66
5.4	Proposta Implementada na Ferramenta	68
6	ESTUDO DE CASO	72
6.1	Análise da Saúde e Qualidade do ECOS SOLAR	72
6.1.1	<i>Visão Geral da Saúde e Qualidade do ECOS SOLAR</i>	73
6.1.2	<i>Resultados Estatísticos da Saúde e Qualidade do ECOS SOLAR</i>	75
7	AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM	79
7.1	Execução da Avaliação	79
7.2	Resultados Obtidos	80
7.2.1	<i>Questões Demográficas</i>	80
7.2.2	<i>Questões Técnicas</i>	82
7.2.3	<i>Questões Abertas</i>	84
7.2.3.1	<i>Pontos Fortes</i>	85
7.2.3.2	<i>Pontos Fracos</i>	86
7.2.3.3	<i>Sugestões de Melhoria</i>	86
7.3	Discussão dos Resultados	87
8	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	88
8.1	Considerações finais	88
8.2	Trabalhos Futuros	89

REFERÊNCIAS	90
APÊNDICE A –ROTEIRO PARA AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM BA- SEADA EM MODELOS SSN	94
APÊNDICE B –QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM	101

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual, de acordo com Jansen (2020), as indústrias perceberam que não trabalham de forma individual para a excelência de um produto, mas sim que fazem parte de um complexo ecossistema juntamente a outras empresas. Segundo Pinheiro e Coutinho (2024), Ecossistemas de Software - (Ecossistema de Software (ECOS)) são atores e componentes que trabalham com o objetivo comum de fornecer produtos ou serviços de software.

Embora o estudo de ECOS tenha avançado, Pinheiro *et al.* (2024) destacam que ainda existem lacunas significativas, sobretudo no que diz respeito à saúde e qualidade dos ecossistemas. A literatura disponível é limitada e a maioria dos trabalhos aponta esses temas como direções futuras de pesquisa, o que dificulta o desenvolvimento de análises sistemáticas e fundamentadas. Essa falta de aprofundamento mostra que a compreensão da saúde e da qualidade de ECOS ainda é insuficiente e carece de métodos, métricas e instrumentos de avaliação.

Pinheiro *et al.* (2024) destacam lacunas na área que incluem a necessidade de avaliar a saúde e qualidade de ECOS, propor novas análises de saúde e qualidade e desenvolver estudos que explorem a modelagem de *Software Supply Network* - (*Software Supply Network* (SSN)) Rede de Suprimento de Software em ECOS. Jansen *et al.* (2015) apontam as dificuldades encontradas na modelagem de ECOS, enquanto Souza *et al.* (2018) ressaltam a importância da qualidade e de sua gestão para ecossistemas de software e ainda afirmam que, através da junção da norma *International Organization for Standardization* (ISO)/*International Electrotechnical Commission* (IEC) 25010, é possível manter ou melhorar a qualidade do ECOS.

A literatura apresenta algumas definições para ECOS. Coutinho *et al.* (2019) dizem que ECOS é uma metáfora na Engenharia de Software - (Engenharia de Software (ES)) muito utilizada para dinâmicas SSN, centradas em uma plataforma de software. Souza *et al.* (2018) definem ECOS como sendo composto de várias organizações e indivíduos com diferentes funções e interesses, com o objetivo de garantir a eficiência do ecossistema, sua capacidade de enfrentar e resistir às interrupções, e principalmente de criar uma diversidade significativa.

Coutinho *et al.* (2017) destacam que a medição da saúde de ECOS apresenta desafios contínuos, sobretudo porque suas características evoluem ao longo do tempo, alterando diretamente seu estado de saúde e qualidade. Manikas e Hansen (2013) destacam que na literatura ainda existem poucos estudos dedicados à avaliação desses aspectos, e o campo de garantia de qualidade em ECOS permanece pouco explorado. O trabalho de Coutinho *et al.* (2017) destaca como as pesquisas em ECOS vêm aumentando, para garantir que os produtos desenvolvidos

sigam boas práticas e possam ser integrados a outros elementos do ecossistema.

Segundo SANTOS *et al.* (2014), boas práticas e padrões de arquitetura podem contribuir para manter e indicar a saúde de um ECOS. Entretanto, conforme apontado por Manikas e Hansen (2013), métodos tradicionais de avaliação de qualidade não são totalmente adequados para ecossistemas, devido à distribuição de responsabilidades entre diferentes plataformas e atores, o que reforça a necessidade de abordagens específicas que considerem as particularidades estruturais e dinâmicas desses ambientes.

De acordo com Amorim *et al.* (2017), mesmo com lacunas na literatura e ausência de padronização, o estudo sobre ECOS tem atraído crescente interesse da comunidade científica. Contudo, muitas práticas permanecem pouco documentadas, dificultando o avanço de métodos formais capazes de avaliar de forma consistente a saúde e a qualidade desses ecossistemas.

O trabalho de Jansen *et al.* (2007) define um método para modelagem SSN considerando o fluxo presente, seus participantes e o tipo de produto trocado. Boucharas *et al.* (2009) destacam vantagens dos modelos SSN ao mostrar o fluxo de informação e software entre atores, permitindo melhor visualização do modelo de negócios e de suas dependências.

O problema central deste trabalho consiste na ausência de métodos e ferramentas capazes de avaliar de forma sistemática a saúde e a qualidade de Ecossistemas de Software. A escassez de abordagens específicas na literatura limita a condução de análises estruturadas e dificulta o monitoramento desses ambientes. Assim, este estudo busca suprir essa lacuna ao propor uma abordagem que permita avaliar tais atributos de maneira objetiva e apoiar a comunidade na compreensão e gestão da qualidade em ECOS.

1.1 Objetivos

Nesta Seção, serão apresentados os objetivos estabelecidos para este trabalho.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é propor uma abordagem para a análise da saúde e qualidade de ecossistemas de software, utilizando modelos SSN como base para avaliar dependências e apoiar estudos e pesquisas na área, com foco na gestão e evolução desses ecossistemas.

1.1.2 *Objetivos específicos*

- Identificar os principais conceitos de saúde e qualidade em ecossistemas de software, considerando sua relevância para a modelagem e gestão eficaz de ECOS.
- Analisar como os modelos SSN podem servir como base para avaliar dependências e apoiar o monitoramento da saúde e qualidade em ECOS.
- Desenvolver métricas de qualidade para ECOS, com base na norma ISO/IEC 25000 (*System and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)*), que considerem aspectos como resiliência e adaptabilidade.
- Propor uma abordagem para analisar a saúde e qualidade de ECOS com apoio da modelagem SSN.
- Implementar a abordagem proposta na ferramenta *ECOS Modeling*, estabelecendo diretrizes para a aplicação de métricas e modelos de análise no suporte à gestão de ECOS.
- Avaliar a abordagem proposta por meio da validação das métricas e modelos, utilizando análises e estudos teóricos para demonstrar sua eficácia na melhoria da gestão de ECOS.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo serão apresentados os conceitos que servem para a base da realização deste trabalho. Ecossistemas de *Software*, *Software Supply Network*, Modelagem de ECOS, Saúde e Qualidade de ECOS e a ferramenta *ECOS Modeling*.

2.1 Ecossistemas de Software

De acordo com Bosch (2009) os Ecossistemas de Software (ECOSs) podem surgir como a evolução das linhas de produtos de software, com a expansão dos limites organizacionais para a inclusão de parceiros externos. Essa transição de linhas de produtos para ecossistemas é impulsionada pela necessidade de inovação, personalização em massa e complexidade crescente do desenvolvimento de software no mercado.

Ainda segundo Bosch (2009), um dos principais benefícios dos ECOS é a aceleração da inovação através da abertura da plataforma para desenvolvedores externos, possibilitando a criação de novos componentes ou aplicativos por terceiros, atendendo a demandas específicas do mercado em um curto período de tempo. No seu trabalho, ainda menciona-se que a transição para um ecossistema de software é estratégica para empresas que buscam expandir sua base de usuários e aumentar a atratividade de suas plataformas. De acordo com Jansen *et al.* (2007) ECOS trazem como benefícios a promoção de robustez, produtividade e a criação de nichos, características essenciais para sustentar a saúde e a inovação dentro do ecossistema.

2.1.1 Visão Geral

Como apresentado anteriormente, a literatura apresenta diversas definições para ECOS ao longo dos anos, segundo Jansen *et al.* (2007), os ecossistemas de software podem ser definidos como uma rede de atores que funcionam como uma unidade em um mercado compartilhado de software e serviços. Bosch (2009) em seu estudo, diz que ECOS são o conjunto de soluções de software que permitem as atividades realizadas pelos atores no ecossistema social e comercial, assim como as organizações que os fornecem, e é formado quando as empresas expandem suas plataformas para além de seus limites organizacionais, tornando-as disponíveis para desenvolvedores externos.

Segundo PLAKIDAS *et al.* (2016) ECOS são um modelo cooperativo para o mercado e desenvolvimento de software, com interações dinâmicas e complexas entre seus participantes.

Belo e Alves (2024) trazem em seu trabalho que ECOS são uma base comum de software na qual uma rede de usuários com interesses compartilhados constrói uma coleção de produtos de software para satisfazer certas necessidades.

Segundo Johnson *et al.* (2020) ECOS promovem uma facilitação na criação de produtos e mercados, diminuem barreiras para que novos produtores de software entrem, e a colaboração entre keystones e os desenvolvedores externos permite adaptação às oportunidades, o que acaba por aumentar a capacidade de inovação. Ainda destacam que ECOS são altamente flexíveis e isso permite a integração e adaptação de soluções às necessidades de diferentes usuários.

No estudo de Belo e Alves (2024), destaca-se que os relacionamentos entre os atores são organizados por meio de modelos de parceria que auxiliam na organização das relações entre esses participantes, sendo tais modelos um suporte para manter a governança dos ECOS.

2.1.2 Atores, Papéis, e Relacionamentos

O trabalho de Belo e Alves (2024) destaca que a organização e a governança dos ecossistemas de software dependem de relações estruturadas entre os diferentes participantes. Essas relações são fundamentais para sustentar a colaboração e promover a inovação dentro do ecossistema. Já Manikas e Hansen (2013) afirmam que os ecossistemas de software se baseiam em uma diversidade de participantes que desempenham papéis interconectados, sendo cruciais para a estabilidade e a expansão do ecossistema. Ambos os estudos destacam que os papéis exercidos pelos atores influenciam diretamente a dinâmica e o sucesso do ecossistema, assegurando que todos contribuam para a sua sustentabilidade e crescimento.

Jansen *et al.* (2013) afirmam que os atores em um ECOS podem ser definidos como unidades que interagem em um mercado compartilhado de software e serviços, envolvendo trocas de informações, recursos e artefatos. Os atores desempenham diferentes papéis dentro de um ecossistema, que podem ser internos ou externos, dependendo da relação e dos ativos com os quais interagem. Segundo Lima *et al.* (2014) os papéis incluem:

- **Keystone** : Atores centrais que adicionam valor ao ecossistema, responsáveis pela saúde e sustentabilidade do ECOS. Eles gerenciam a plataforma, executam a governança e definem regras para manter o equilíbrio do ecossistema.
- **Dominador**: Focado em extrair valor do ECOS, mas colocando sua saúde em risco devido à priorização excessiva de seus próprios interesses.

- **Cliente:** O cliente que gerou a necessidade dos produtos de software desenvolvidos pelo ECOS.
- **Competidor:** Extrai valor do ECOS, mas não ameaça sua saúde.
- **Fornecedor:** Quem fornece um ou mais produtos/serviços necessários para o ECOS.
- **Vendedor:** Vende os produtos produzidos pelo ECOS, podendo ser Revendedor, *Independent Software Vendor* - (*Independent Software Vendor* (ISV)) Fornecedor Independente de Software e *Value-added Reseller* - (*Value-added Reseller* (VAR)) Revendedor de Valor Agregado.
- **Desenvolvedor:** Desenvolvedor interno, conectado às entidades que formam o ecossistema. Assim como Vendedor, pode ter diferenciações em como faz isso, como *Influencer*, *Hedger*, *Disciple*.
- **Desenvolvedores Terceirizados:** Promove o ECOS e pode propor melhorias, mas este fica externo ao ecossistema e não possui vínculo formal com o *Keystone*.
- **Usuários Finais:** Utiliza os produtos do ecossistema sem, necessariamente, estar envolvido em sua criação ou modificação. Este papel é distinto do cliente, que contrata serviços diretamente relacionados às necessidades.
- **Parceiros Externos:** Promovem o ecossistema e suas funcionalidades, frequentemente propondo melhorias e fomentando a colaboração dentro do ECOS.

A Figura 1 mostra de forma detalhada as descrições dos papéis e atores identificados no trabalho de Lima *et al.* (2014). Além disso, Lima *et al.* (2014) mencionam que os relacionamentos entre os atores se manifestam por meio de dependências entre ativos, interesses em atualizações e associações com comunidades formadas dentro do ECOS. A Figura 2 descreve os ativos mencionados no estudo, divididos em necessidades, que são os requisitos de software, e artefatos que são os componentes do software.

Jansen *et al.* (2013) mencionam em seu estudo que, frequentemente, a relação entre os atores acaba por ser sustentada por plataformas tecnológicas e baseia-se em regras de colaboração definidas pelos *keystones*. Essas interações incluem trocas de valor, como serviços, informações e inovações. Segundo SILVA *et al.* (2017), os *keystones* desempenham um papel fundamental na organização do ecossistema, liderando iniciativas para garantir a sustentabilidade, tais como a criação de mecanismos de governança e a promoção da colaboração entre os participantes. Essas iniciativas incluem a introdução de padrões técnicos, a certificação de componentes e a

Figura 1 – Descrição dos papéis e atores do ECOS.

Hub	<i>Keystone</i>	Acrésceta valor para o ECOS e é o principal responsável pela manutenção da saúde, <i>i.e.</i> , longevidade e propensão ao crescimento (Hartigh <i>et al.</i> , 2006). Pode representar a entidade de influência dominante.		
	<i>Dominator</i>	Extraí valor do ECOS, colocando em risco a sua saúde e sustentabilidade.		
Niche Player	<i>Customer</i>	Representa o cliente, que gerou a necessidade dos produtos de software do ECOS.		
	<i>Competitor</i>	Tenta extrair valor do ecossistema, porém não ameaça a saúde do ECOS.		
	<i>Supplier</i>	Ator que fornece um ou mais produtos ou serviços necessários ao ECOS.		
	<i>Vendor</i>	Vende os produtos de software do ECOS	<i>Reseller</i>	Revende um produto desenvolvido por outro ator sem alterá-lo.
			<i>Indepedent Software Vendor (ISV)</i>	Produz e vende seu próprio produto.
			<i>Value-added Reseller (VAR)</i>	Revende um produto desenvolvido por outro ator, mas agrega valor ao mesmo.
	<i>Developer</i>	Desenvolvedor interno, ligado a entidades formadoras do ECOS	<i>Influencer</i>	Desenvolve para o ECOS e contribui para sua saúde ao se comprometer com uma estratégia, complementando o <i>Keystone</i> .
			<i>Hedger</i>	Desenvolve seus produtos ou serviços para apoiar múltiplas plataformas.
			<i>Disciple</i>	Compromete-se exclusivamente com a plataforma.
External Actor	<i>3rd-party developers</i>	Promove o ECOS e seus produtos, pode propor melhorias. Análogo ao <i>Influencer</i> , porém externo ao ECOS, não tendo vínculo formal com o <i>Keystone</i> .		
	<i>End-user</i>	Usuário final do produto, difere do <i>Customer</i> , por não contratar serviço do <i>Keystone</i> .		
	<i>External Partner</i>	Contribui para o bem estar do ECOS por meio de atitudes, tais como a promoção do ECOS e de seus produtos. Também propõe melhorias.		

Fonte: Lima *et al.* (2014).

Figura 2 – Descrição de Ativos em um ECOS.



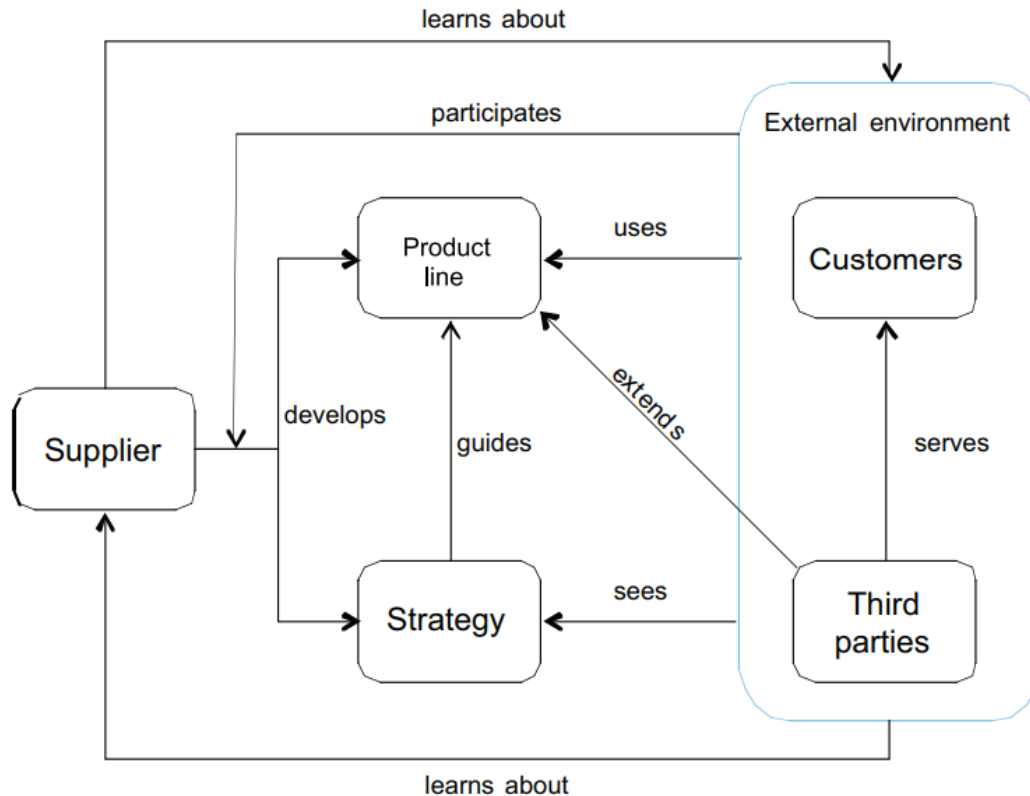
Fonte: Lima *et al.* (2014).

organização de redes de parcerias para ajudar a proteger o ecossistema de ameaças externas.

Hanssen (2012), em seu trabalho, menciona que a maioria dos ecossistemas de software se dá por dois conceitos fundamentais: uma rede de organizações e o interesse comum em uma tecnologia central. Por conta disso, no mesmo trabalho é identificado que ECOSs possuem pelo menos três papéis chaves, (I): **Organização Fundamental ou Keystone**, que é o grupo ou organização que está à frente do desenvolvimento dessa tecnologia e/ou software central; (II): **End-Users ou Usuários Finais**, que são quem irá utilizar os produtos de software produzidos pela empresa ou grupo; (III): **Third Party Organizations ou Organizações terceirizadas** que

são quem usará a plataforma de tecnologia central para a produção de serviços e soluções tecnológicas similares.

Figura 3 – Modelo Conceitual de um ECOS Centrado em um *Keystone*.



Fonte: Hanssen (2012).

Manikas e Hansen (2013) destacam que os relacionamentos em ECOS são variados e dinâmicos, abrangendo desde transações diretas entre fornecedores e clientes até interações indiretas influenciadas pelos padrões definidos por *keystones*. A governança, a competição e a cooperação desempenham papéis fundamentais na evolução desses relacionamentos.

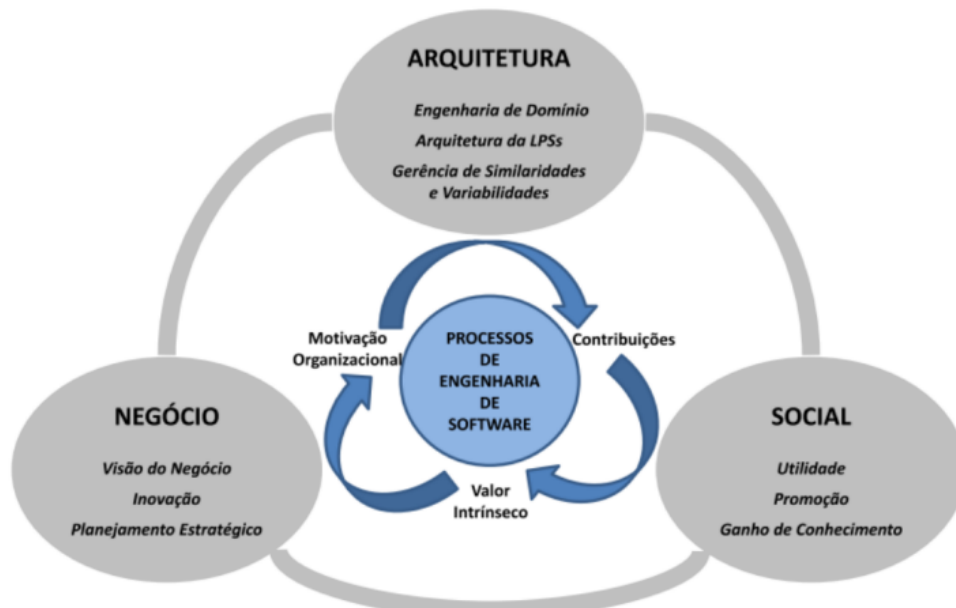
A Figura 3 mostra um modelo conceitual de um ECOS centrado em um *Keystone* e como se dão as relações entre os atores presentes nesse ECOS. Os retângulos no modelo são uma representação dos atores e artefatos, as setas representam as atividades que conectam os papéis e artefatos.

Destacado por Jansen *et al.* (2013) os ecossistemas de software podem ser analisados em várias dimensões, desde sua robustez tecnológica até a dinâmica de relacionamento entre os atores, e SILVA *et al.* (2017) falam em seu estudo que essas dimensões ajudam na compreensão da saúde, sustentabilidade e evolução do ECOS, conforme exemplificado por estudos sobre robustez e conectividade.

2.1.3 Dimensões e Classificação

Segundo Campbell e Ahmed (2010), uma abordagem eficaz para compreender a complexidade de um ECOS é através de três dimensões principais: Negócios, Arquitetura e Social. Cada uma dessas dimensões desempenha um papel de grande importância para o sucesso e a sustentabilidade do ecossistema. A Figura 4 mostra um modelo das três dimensões e como elas se relacionam e interconectam.

Figura 4 – As Três Dimensões dos ECOS.



Fonte: Campbell e Ahmed (2010) e traduzida por SANTOS *et al.* (2014).

A dimensão de negócios está relacionada às motivações organizacionais para a criação e manutenção de um ecossistema, como o planejamento estratégico e a promoção da inovação de produtos; a dimensão de arquitetura refere-se aos aspectos técnicos que sustentam o ecossistema, podendo estabelecer limites para o desenvolvimento dos ECOS; e a dimensão social enfatiza as interações humanas e organizacionais no ecossistema, destacando o papel das comunidades e da colaboração.

Campbell e Ahmed (2010) ainda explicam que o sucesso de um ecossistema depende de como essas dimensões são coordenadas e gerenciadas, apesar de cada dimensão ser distinta, elas são interdependentes. Por exemplo, a dimensão social pode estimular inovações que impactam diretamente as dimensões de negócios e arquitetura.

O estudo realizado por SANTOS *et al.* (2014) apresenta uma generalização das três dimensões de um ECOS descritas por Campbell e Ahmed (2010), destacando que elas são pilares

fundamentais para entender e gerenciar ecossistemas.

- **Dimensão técnica:** Representa a base tecnológica que conecta os atores e viabiliza a criação e evolução de soluções de software. Possui três fatores importantes que a sustentam, (I) **Engenharia da plataforma:** que tem por finalidade o desenvolvimento e manutenção do núcleo técnico; (II) **Arquitetura:** relativa a estrutura dos componentes do sistema e suas interações; e (III) **Gerenciamento de requisitos:** que trata das funcionalidades comuns e específicas às necessidades dos usuários e parceiros.
- **Dimensão Transacional:** Essa dimensão examina a colaboração, a competitividade e a produtividade do ecossistema. Relaciona-se à interação econômica e às transações entre os atores do ECOS. Possui três fatores importantes que a sustentam, (I) **Visão de ambiente:** controle/planejamento versus abertura para ações situacionais; (II) **Inovação:** que propõe usar criatividade e exploração de novas oportunidades; e (III) **Planejamento estratégico:** definição de metas alinhadas com o mercado.
- **Dimensão Social:** Enfatiza a dinâmica e relações humanas e organizacionais, como a formação de comunidades, a colaboração entre participantes e os valores compartilhados. Essencial para o sucesso e a sustentabilidade do ECOS, pois promove conexões, trocas de conhecimento e inovação. Possui três fatores importantes que a sustentam, (I) **Utilidade:** benefícios percebidos e esperados pelos participantes; (II) **Promoção:** reconhecimento e valorização de contribuições pelos membros; e (III) **Ganho de conhecimento:** aprendizado coletivo e disseminação de informações dentro do ambiente de colaboração.

Segundo Manikas e Hansen (2013), os ecossistemas podem ser classificados de diversas formas, considerando aspectos como o contexto, a finalidade e as interações entre os participantes. Os ECOS podem ser proprietários, *open source* ou híbridos. ECOS proprietários, como o iOS, são controlados por uma entidade central e possuem acesso restrito a participantes externos. Já os ECOS *open source*, como o Linux, promovem ampla colaboração e inovação, com participação aberta a qualquer ator interessado. Os ECOS híbridos combinam características de ambos, como controle estratégico e abertura parcial.

De acordo com o trabalho de Valença e Alves (2013), uma das formas de classificação considera o nível de abertura das plataformas. Ecossistemas abertos permitem que atores externos

influenciem diretamente as mudanças e evoluções, promovendo confiança mútua e facilitando a entrada de novos parceiros. Já em ecossistemas fechados, o controle é centralizado pela organização *keystone*, que define padrões e certifica parceiros, como no caso do ecossistema da *Apple*.

Manikas e Hansen (2013) ainda trazem em seu estudo que ECOS podem ser organizados com base em sua função arquitetural ou nas relações sociais e transacionais. Exemplos de ECOS centrados em sistemas operacionais, como Android, ou em aplicações específicas, como os ERPs. Também é possível analisá-los pela natureza das interações, que podem ser comerciais, colaborativas ou baseadas em redes de fornecimento. Essas classificações ajudam a compreender como os ecossistemas são estruturados e como evoluem.

O estudo de Valença e Alves (2013) também aponta que a classificação de ecossistemas pode ocorrer considerando diferentes perspectivas, como o contexto de aplicação, a estrutura de governança e o nível de abertura. Dentro disso, dois tipos principais emergem: ecossistemas comerciais, focados em transações financeiras e controlados por empresas, como o iOS da *Apple*, e ecossistemas sociais, que promovem colaboração aberta, como comunidades *open source* (*Linux* e *Android*). Além disso, a classificação pode incluir aspectos híbridos, onde plataformas combinam elementos de abertura e controle. O Quadro 1 traz um breve resumo das classificações de ecossistemas.

Quadro 1 – Classificação de ecossistemas de software

	Social	Comercial
Aberto	Participação ativa de membros da comunidade. Membros podem evoluir a plataforma livremente.	Organização central fornece a plataforma tecnológica básica. A comunidade de desenvolvedores externos e usuários podem tomar decisões livremente.
Fechado	Existe um comitê que centraliza as decisões da plataforma. A comunidade pode fazer extensões desde que aprovadas pelo comitê.	A Organização central centraliza todas as decisões de evolução da plataforma e aprova a participação de novos membros.

Fonte: Valença e Alves (2013).

2.2 Software Supply Network - SSN

Jansen *et al.* (2007) destacam que as SSNs são redes de organizações interconectadas que colaboram para fornecer produtos e serviços de software. Essas redes diferem das cadeias de suprimentos tradicionais por lidarem com software, que é maleável e requer manutenção

continua mesmo após a entrega. Os modelos SSN podem ser divididos em duas partes.

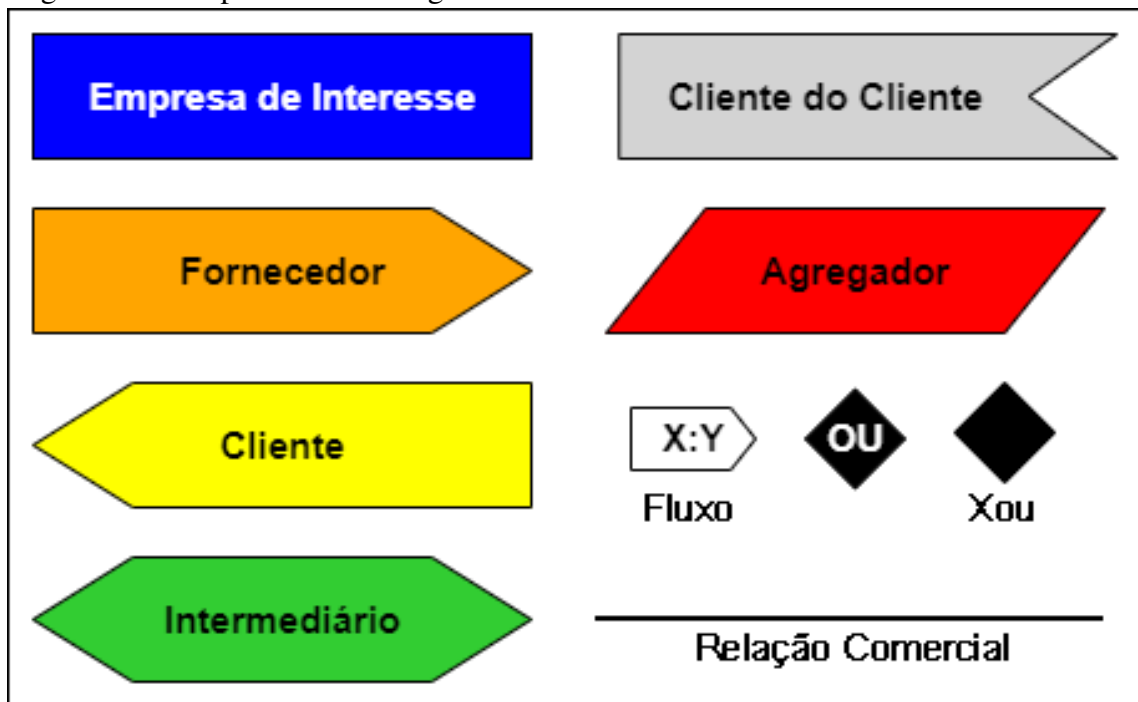
- **Contexto de produto:** descreve os sistemas e componentes necessários para a operação de um serviço de software. Inclui todos os elementos envolvidos, desde software e hardware até serviços que suportam a entrega do produto final. O contexto do produto também possui três entidades: (I) **Serviços de caixa branca:** sistemas cujos componentes e operações internas são visíveis e podem ser analisados ou modificados; (II) **Serviços de caixa preta:** sistemas que fornecem funcionalidades sem expor sua implementação interna; (III) **Componentes de hardware e software:** elementos básicos que compõem os sistemas e suportam a prestação e desenvolvimento de serviços.
- **Rede de fornecimento** (*Supply Network*): se concentra em mapear os participantes, as conexões e os fluxos de produtos e informações dentro da rede de fornecimento. Além disso, detalha os tipos de produtos ou serviços que são trocados entre esses participantes, permitindo um entendimento completo das relações de fornecimento.

Segundo Jansen *et al.* (2007), as conexões na *supply network* são acompanhadas por fluxos, que especificam o tipo de item comercializado, como requisitos (Req), designs (Des), componentes de software (Comp), produtos finais (P), sistemas (Sys) e serviços (Ser). Esses fluxos são fundamentais para compreender a dinâmica da rede, incluindo como os produtos evoluem desde o desenvolvimento até a entrega final. Mapear essas interações permite identificar dependências, responsabilidades e oportunidades.

PINHEIRO (2023) aponta que os principais elementos da modelagem SSN incluem atores, relações comerciais, fluxos e *gateways*. Essa abordagem serve para facilitar a visualização da estrutura de um ECOS, permitindo que pesquisadores e gestores analisem sua evolução e tomem decisões estratégicas baseadas em dados concretos. A Figura 5 traz uma ilustração dos componentes usados para a notação SSN da formalização realizada por Boucharas *et al.* (2009) e a extensão realizada por Costa *et al.* (2013) definindo cada um dos componentes presentes na notação.

- **Companhia de Interesse (Compainha de Interesse (CoI)):** A empresa que fornece o produto de interesse que está sendo avaliado no modelo de negócios. Representado por retângulo azul de borda sólida.
- **Cliente:** Os consumidores finais ou intermediários que comprem ou utilizam os

Figura 5 – Componentes do Diagrama SSN.



Fonte: Boucharas *et al.* (2009) com a extensão de Costa *et al.* (2013).

produtos e serviços fornecidos pela empresa de interesse. Representado por um pentágono amarelo e corpo alongado de borda sólida.

- **Fornecedor:** Representa as organizações ou indivíduos que fornecem produtos ou serviços para a CoI, como hardware e software. Representado por um pentágono de corpo alongado e de cor laranja e borda sólida.
- **Intermediário:** Atua como um facilitador, conectando os fornecedores aos clientes, como distribuidores ou plataformas. Representado por um hexágono de corpo alongado de cor verde e borda sólida.
- **Cliente do Cliente:** Clientes podem ter seus próprios clientes com serviços ou produtos ligados à empresa de interesse. Representado por uma caixa cinza de borda sólida.
- **Agregador:** Representa uma empresa, serviço ou produto que está direta ou indiretamente ligado à CoI. Representado por um losango de cor vermelha e borda sólida.
- **Fluxo:** Conecta dois atores, e muitas vezes as relações podem ser complexas com fluxo em diversas direções. O X representa o artefato e Y representa o número de artefatos de um mesmo tipo. Representado por uma caixa branca com texto preto e com borda sólida.

- **OU Gateway:** Denota a ativação de um ou mais relacionamentos comerciais e fluxos entre atores. Representado por um losango preto com texto branco e borda sólida.
- **XOU Gateway:** Representa a ativação de apenas um relacionamento comercial e seus fluxos entre seus demais relacionamentos. Representado por um losango preto de texto branco com borda sólida.
- **Relação Comercial:** Representa o fluxo entre dois atores ou representa um artefato, usado em conjunto com a relação comercial. Representado por uma linha sólida de cor preta.

De acordo com PINHEIRO (2023), diversas técnicas têm sido aplicadas para a modelagem de ECOS, sendo a notação SSN uma das mais utilizadas por sua capacidade de representar relações comerciais de forma clara e compreensível. Desse modo, a modelagem de ECOS desempenha um papel essencial na pesquisa acadêmica e no suporte à tomada de decisões no setor industrial.

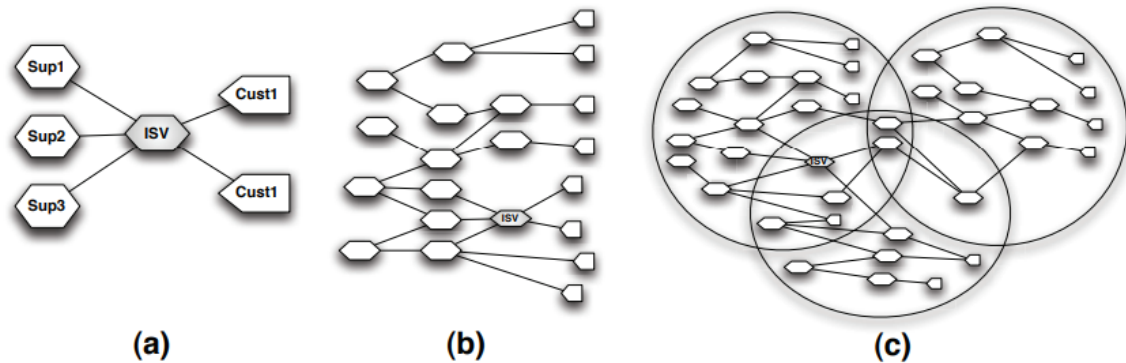
2.3 Modelagem de ECOS

Segundo PINHEIRO (2023), a modelagem de ECOS vem ganhando destaque na literatura devido à necessidade de representar, analisar e visualizar a dinâmica dos ecossistemas. Essa abordagem permite um melhor entendimento das interações entre atores, a estrutura de redes comerciais e a evolução ao longo do tempo. A modelagem fornece um meio estruturado para estudar como os ECOS se desenvolvem e quais fatores influenciam sua sustentabilidade e inovação.

Jansen *et al.* (2007) descrevem uma técnica de modelagem utilizando as redes de fornecimento, onde se inicia com a criação do contexto do produto para identificar todos os produtos e serviços que são necessários para o produto de interesse, e o segundo passo é a definição de participantes. Esses participantes estão todos envolvidos com os produtos presentes no contexto do produto e, por fim, as conexões de relacionamento são definidas entre os participantes.

Boucharas *et al.* (2009) realizam uma formalização da modelagem de ECOS usando como base o modelo apresentado por Jansen *et al.* (2007), realizando um complemento dessa visão. Propondo uma estrutura de três níveis de escopo: (I) **Nível SSN:** foca nas relações diretas entre atores envolvidos na criação, fornecimento e manutenção de um produto ou serviço especí-

Figura 6 – Níveis de Escopo de um Ecossistema de Software

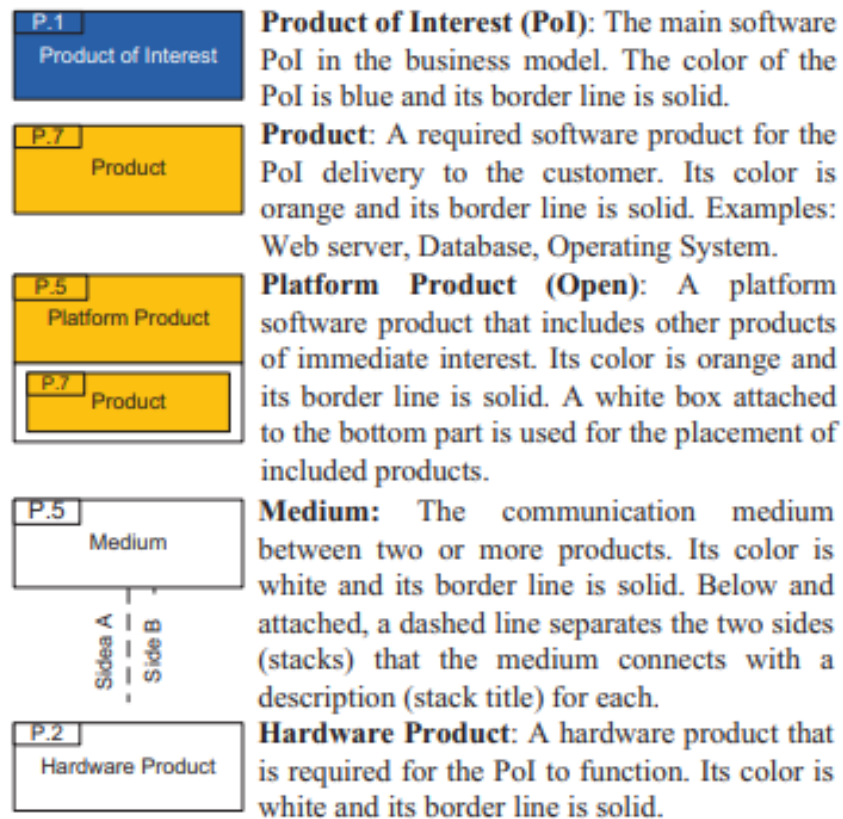


Fonte: Boucharas *et al.* (2009).

fico; (II) **Nível SECO** (*Software Ecosystems* - Ecossistemas de Software): analisa o ecossistema como um todo, considerando as interações entre diferentes atores e suas contribuições para o mercado compartilhado e (III) **Interação entre SECOS**: explora como diferentes ecossistemas colaboram, competem ou compartilham recursos, gerando um impacto mais amplo. A Figura 6 demonstra um modelo visual de como se dá a separação dos níveis de escopo de um ECOS. O estudo realizado por Boucharas *et al.* (2009) apresenta o *Software Ecosystem Modeling Meta-model (SEM) Meta-model - (Software Ecosystem Modeling Meta-model)* Meta Modelo de ECOS que é uma estrutura formal que organiza e descreve os principais elementos e relações de um ecossistema de software. Ele é projetado para conectar dois aspectos fundamentais: o *Product Deployment Context - (Product Deployment Context (PDC))* Contexto de Implantação de Produto e a SSN, integrando os componentes de ambos para fornecer uma visão abrangente de um ecossistema de software. O metamodelo se destaca por sua integração entre PDC e SSN, garantindo uma análise consistente do ecossistema. A Figura 7 representa um diagrama conceitual do Meta Modelo e como os elementos e relações se conectam dentro de um ECOS.

O PDC descreve os produtos de software, hardware e mídias necessárias para o funcionamento do *Product of Interest - (Product of Interest (PoI))* Produto de Interesse, bem como a hierarquia e as dependências entre os componentes em seu ambiente operacional. Facilitando a visualização dos fluxos de controle e informações entre os produtos, auxiliando no entendimento das interações técnicas dentro do ecossistema. Já a SSN modela as relações comerciais e técnicas entre os atores do ecossistema, como fornecedores, intermediários, clientes e parceiros. Por meio de fluxos transacionais como produtos, serviços, conteúdos e valores financeiros, permitindo identificar dependências críticas e analisar interações estratégicas. A Figura 8 ilustra os componentes do PDC em sua notação visual com sua respectiva descrição.

Figura 8 – Componentes do PDC



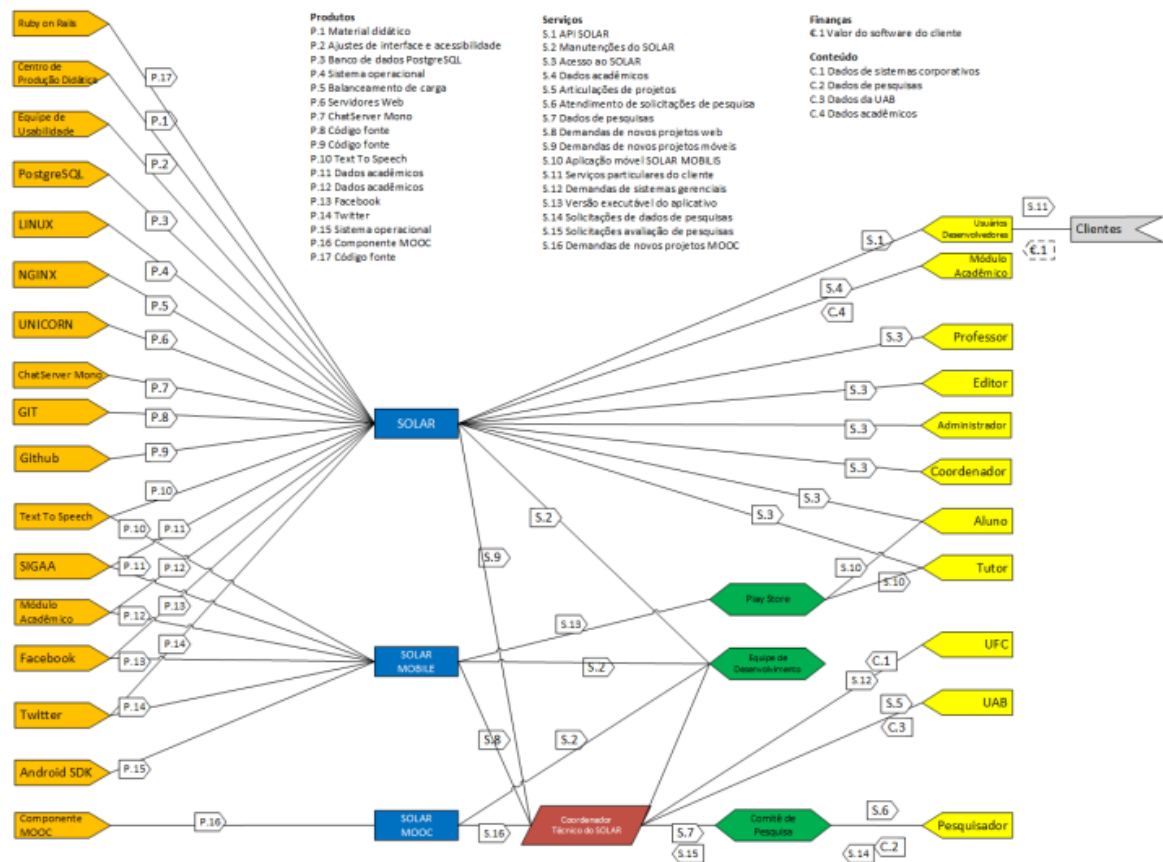
Fonte: Boucharas *et al.* (2009).

como servidores, dispositivos móveis ou infraestrutura de rede. Representado por um retângulo de cor branca e borda sólida.

Segundo o estudo de Coutinho *et al.* (2017) A modelagem de ECOSs é fundamental para compreender as interações entre organizações, atores e elementos que compõem esses sistemas. A modelagem desses ecossistemas permite identificar relações, dependências críticas, riscos e oportunidades de melhoria, além de oferecer suporte à evolução sustentável do ECOS. O estudo apresenta a aplicação da SSN ao ecossistema educacional ECOS SOLAR, que integra tecnologias de ensino a distância e presencial; a modelagem identificou atores-chave, como fornecedores, desenvolvedores, clientes e intermediários, e mapeou os fluxos de produtos e serviços entre eles.

Através da modelagem forma possíveis a identificação de dados importantes para análise do sistema SOLAR, com isso se destacam três categorias importantes. (I) **papéis no ecossistema**: no caso do sistema sendo voltado para educação foram identificados como instrutores, alunos e desenvolvedores; (II) **produtos do ecossistema**: como ferramentas educacionais e componentes de software; e (III) **atividades do ecossistema**: como criação e reutilização dos

Figura 9 – Modelagem SSN do SOLAR ECOS



Fonte: Coutinho *et al.* (2017).

recursos educacionais. Além disso, evidenciou lacunas, como a falta de documentação de certos elementos e desafios de interoperabilidade entre sistemas.

Coutinho *et al.* (2017) ainda destacam através dos resultados do estudo os riscos associados à dependência de fornecedores e a limitações em plataformas específicas. No entanto, identificaram oportunidades de crescimento por meio da melhoria da API SOLAR, responsável pela integração com a comunidade de desenvolvedores. Conclui-se que a modelagem é uma ferramenta indispensável para analisar ECOSs, promover inovação e sustentar a evolução desses ecossistemas. Contudo, ainda há uma carência de maior formalização e casos práticos que fortaleçam a aplicação da modelagem na indústria real. A Figura 9 ilustra o resultado da modelagem SSN do Solar, evidenciando bem os relacionamentos entre os participantes do ecossistema.

Segundo Coutinho *et al.* (2017), ao documentar relações e componentes de forma clara, a modelagem facilita a comunicação entre os envolvidos, o que é essencial para garantir qualidade nos processos e produtos, bem como para sustentar a saúde do ecossistema a longo

prazo. Além de facilitar a análise dos ECOS, a modelagem permite comparações entre diferentes ecossistemas, possibilitando identificar fatores que podem influenciar seu sucesso ou seu declínio.

2.4 Saúde e Qualidade de ECOS

Souza *et al.* (2018) destacam que o conceito de saúde e qualidade em um ECOS é assegurar a integridade e sustentabilidade do ecossistema ao longo do tempo. Ainda segundo Souza *et al.* (2018) saúde do ECOS depende da capacidade de enfrentar mudanças e rupturas, promovendo equilíbrio entre inovação, confiabilidade e eficiência. Já a qualidade é medida com base em normas, como a ISO/IEC 25010, que propõe características e sub-características de qualidade aplicáveis tanto ao produto quanto ao processo. Esses indicadores ajudam a avaliar a funcionalidade, usabilidade e manutenibilidade.

Souza *et al.* (2018) reforçam em seu estudo que o gerenciamento eficaz da qualidade requer práticas colaborativas entre os *stakeholders* para consolidar as melhores práticas, definir métricas relevantes e promover a evolução contínua. Souza *et al.* (2018) mencionam que a saúde do ECOS é diretamente influenciada pela cooperação entre atores-chave, como fornecedores e desenvolvedores, que contribuem para um ecossistema resiliente e dinâmico.

Segundo Axelsson e Skoglund (2016) a garantia de qualidade em ecossistemas é um desafio crescente devido à complexidade das interações entre diferentes atores. Tradicionalmente, a qualidade do software era controlada em ambientes fechados, mas os ECOS introduzem um cenário descentralizado, onde múltiplos desenvolvedores interagem em uma plataforma compartilhada.

Axelsson e Skoglund (2016) ainda destacam que os principais desafios da qualidade em ECOS envolvem: (I) **interações entre organizações distintas**: em um ECOS, diferentes organizações, desenvolvedores e fornecedores contribuem com componentes que se integram ao sistema principal. Essas interações exigem uma coordenação eficaz, pois cada entidade pode seguir padrões e processos distintos de desenvolvimento. A falta de alinhamento pode resultar em inconsistências, como incompatibilidades de versões, problemas de segurança e dificuldades na manutenção; (II) **integração dinâmica de sistemas**: A integração dinâmica ocorre quando novos componentes ou serviços são adicionados ao ECOS de forma contínua e descentralizada. Diferentemente dos sistemas tradicionais, onde todas as partes são planejadas e testadas previamente, um ECOS precisa lidar com a evolução constante de seus módulos, muitas vezes desenvolvidos por terceiros; e (III) **necessidade de monitoramento contínuo**:

Como diferentes organizações contribuem para o ecossistema, problemas podem surgir sem um responsável centralizado para detectá-los e corrigi-los rapidamente. O monitoramento deve abranger métricas como tempo de resposta dos serviços, consistência dos dados e frequência de falhas, permitindo a identificação de degradação no desempenho. Axelsson e Skoglund (2016) ainda mencionam que a ausência de padrões unificados pode gerar problemas de compatibilidade e instabilidade, tornando essencial o desenvolvimento de métricas específicas para avaliar a robustez e confiabilidade dos sistemas integrados.

Hmood *et al.* (2010) em seu trabalho citam que a qualidade de um ecossistema de software não depende apenas dos aspectos técnicos, mas também da comunidade que o sustenta. Um ecossistema com alta participação comunitária tende a ser mais resiliente, pois há mais contribuintes envolvidos na manutenção e aprimoramento do software. Dessa forma, a qualidade do ECOS está diretamente ligada ao engajamento e à colaboração entre seus participantes.

Mens *et al.* (2017) trazem em seu trabalho que, mesmo com a importância de manter um ecossistema, a saúde do ECOS ainda é pouco entendida por conta do aspecto de evolução constante que os ecossistemas possuem por causa do ritmo crescente de eventos que podem ocorrer, como a mudança de alguma tecnologia. Ainda em seu estudo, os autores destacam que o que torna esse entendimento desafiador é o fato de que a maioria dos ECOS não possui um gerenciamento centralizado para supervisionar a saúde e que esses mantenedores precisam levar em consideração os aspectos sociotécnicos e como as decisões tomadas a respeito desses aspectos afetam o ECOS.

Mens *et al.* (2017) mencionam que os problemas que podem interferir no bom funcionamento de um ecossistema e afetar sua saúde podem ser de natureza diversa e de diferentes causas, trazendo como exemplo o ecossistema npm que teve um pacote removido por um proprietário em março de 2016, o que causou a quebra de vários pacotes interdependentes. De um ponto de vista técnico, pacotes com *bugs* e vulnerabilidades na segurança também podem causar problemas semelhantes a um ECOS.

Segundo Carvalho *et al.* (2017) a saúde de um ecossistema é definida por sua capacidade de estabilidade e expansão ao longo do tempo, garantindo retornos sobre investimentos e atendendo às necessidades dos *stakeholders*. Os autores propõem uma arquitetura baseada em ontologias para avaliar a saúde do ECOS, utilizando cinco indicadores principais, detalhados a seguir:

- **Sustentabilidade:** Avalia a capacidade do ECOS de se manter ativo e eficiente ao

longo do tempo. As métricas associadas incluem heterogeneidade (distribuição geográfica dos participantes), capacidade de regeneração (adaptação a mudanças e inclusão de novos membros), equilíbrio de esforços entre os participantes e visibilidade da plataforma.

- **Diversidade:** Mede a variedade de participantes e tecnologias no ECOS. As métricas incluem número de desenvolvedores, grupos de usuários, linguagens de programação suportadas e dispositivos de hardware compatíveis, além da existência de planos para lidar com falhas no sistema.
- **Produtividade:** Examina a capacidade do ECOS de gerar resultados consistentes. As métricas abrangem quantidade de projetos iniciados, número de eventos organizados, tempo médio para resolução de erros, adição de novas funcionalidades e a atividade geral dos usuários na plataforma.
- **Robustez:** Foca na resiliência do ECOS a mudanças e falhas. Métricas incluem interconexões entre os participantes, consistência das informações compartilhadas, agrupamento de projetos e consistência financeira, como parcerias comerciais e volume de contribuições.
- **Criação de nicho:** Refere-se à capacidade do ECOS de desenvolver novas áreas de atuação. As métricas incluem tipos de contribuidores, suporte a tecnologias e idiomas, e diversidade de aplicações nos projetos desenvolvidos.

Essa abordagem semi-automática utiliza métricas e regras semânticas para garantir precisão na avaliação, identificando possíveis fragilidades e auxiliando no planejamento de melhorias no ecossistema.

Carvalho *et al.* (2018) trazem em seu trabalho que a saúde de um ECOS é definida pela capacidade de adaptação a mudanças, resiliência a rupturas e manutenção de um equilíbrio entre inovação, confiabilidade e eficiência. Para avaliar a qualidade, os autores destacam o uso de métricas baseadas em normas como a ISO/IEC 25010, que fornecem critérios para analisar características como funcionalidade, usabilidade, manutenibilidade e confiabilidade. Essas métricas ajudam a monitorar o desempenho tanto da plataforma quanto dos produtos associados ao ecossistema.

Além disso, Carvalho *et al.* (2018) reforçam a importância da colaboração entre *stakeholders* para estabelecer melhores práticas, definir indicadores relevantes e promover a evolução contínua do ecossistema. Dessa forma, a saúde e qualidade de um ECOS são sustentadas

pela integração de práticas eficazes, cooperação entre atores-chave e um enfoque na adaptação às mudanças ao longo do tempo.

SANTOS *et al.* (2014) abordam em seu artigo que a qualidade em ECOS é um fator de grande importância para o sucesso desses ambientes. A qualidade em ECOS não se limita apenas aos processos e produtos, mas também abrange a saúde e prosperidade do ecossistema, que reflete a capacidade de oferecer oportunidades para colaboradores e manter a sustentabilidade e diversidade. Indicadores como sustentabilidade, diversidade, produtividade, robustez e criação de nicho são utilizados para avaliar a saúde de um ECOS, garantindo que ele possa inovar e se adaptar a mudanças tecnológicas.

Além disso, SANTOS *et al.* (2014) mencionam que a qualidade em ECOS exige processos de gestão distribuídos e estratégias para coordenar a comunicação entre os diversos atores. A governança do ecossistema também é essencial, com a definição de requisitos de qualidade e integração que promovam a reutilização e a inovação. A gestão do conhecimento e a certificação das contribuições dos atores são fundamentais para manter a credibilidade e a qualidade dos produtos desenvolvidos no ecossistema.

2.5 ISO/IEC 25000 SQuaRE

Aedah (2020) Destaca que a ISO/IEC 25000, conhecida como SQuaRE (*System and Software Quality Requirements and Evaluation*), unifica normas anteriores, como a ISO/IEC 9126 e a ISO/IEC 14598, em um *framework* estruturado para a especificação, medição e avaliação da qualidade de *software*. Ainda é ressaltado que a série é organizada em divisões dedicadas a modelos de qualidade (ISO/IEC 25010), medições (ISO/IEC 25020) e avaliação (ISO/IEC 25040), permitindo uma abordagem integrada para estabelecer requisitos e monitorar a qualidade em produtos de *software*.

Kawai e Yamada (2023) reforçam a utilidade da SQuaRE em projetos de integração de sistemas, observando que suas características e subcaracterísticas auxiliam na comunicação técnica com os clientes e no alinhamento de expectativas. Segundo os autores, embora abrangente, a aplicação prática da SQuaRE exige adaptações ao contexto de cada projeto, sendo fundamental priorizar requisitos de qualidade desde as fases iniciais.

Shtefan e Zaporozhets (2021) descrevem que a SQuaRE é estruturada em cinco divisões: requisitos, modelos, medições, avaliações e gestão da qualidade, formando um conjunto coerente de normas que padronizam terminologias, processos e métricas. Os autores destacam

que modelos como os das ISO/IEC 25010 e 25012, aliados às métricas definidas nas normas 25021, 25022, 25023 e 25024, possibilitam avaliações objetivas, reproduzíveis e alinhadas às necessidades dos *stakeholders*.

No contexto de ecossistemas de software Carvalho *et al.* (2018), utilizam as características da ISO/IEC 25010 como base para a arquitetura *HEAL ME*, evidenciando que a qualidade em ECOS envolve dimensões técnicas, sociais e de negócio. Os autores destacam que a aplicação de modelos padronizados facilita a definição de métricas e a comparação entre ecossistemas ao longo do tempo. De forma semelhante, Souza *et al.* (2018) apontam que a SQuaRE harmoniza práticas de qualidade entre os diversos atores de um ECOS, favorecendo a interoperabilidade e a evolução sustentável.

2.6 ECOS Modeling - ferramenta de modelagem e repositório para modelos de ECOS

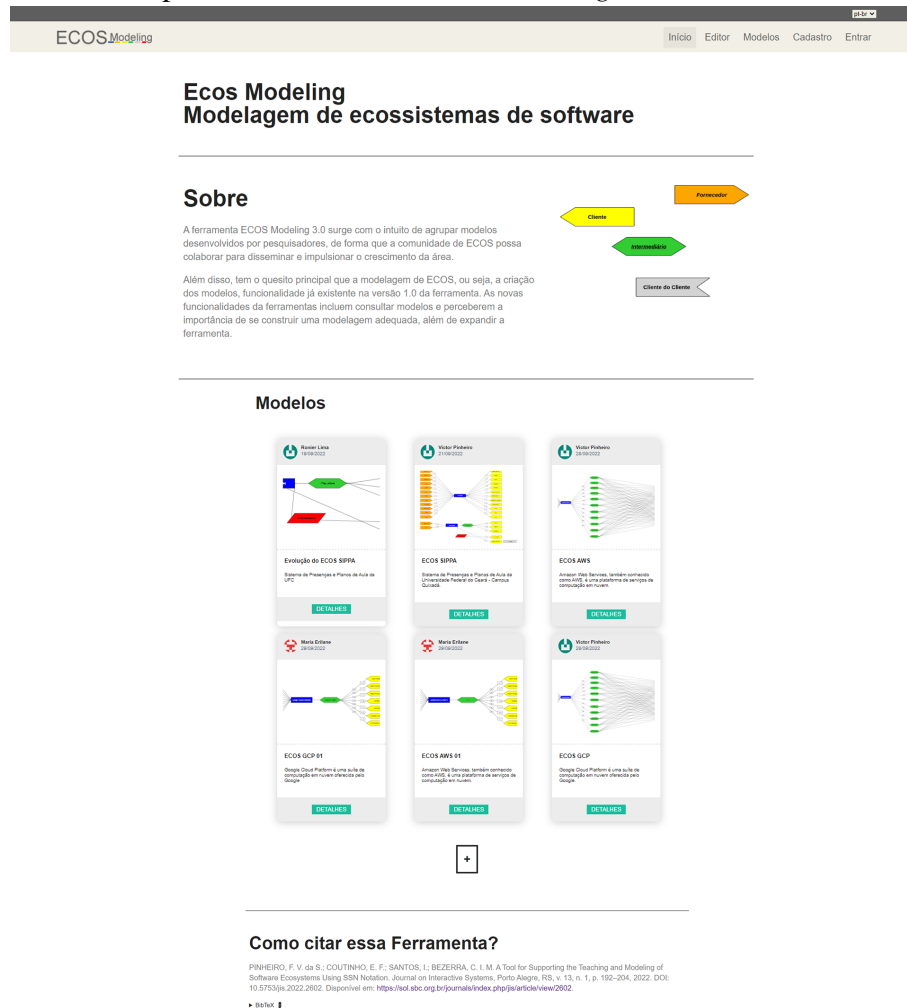
PINHEIRO (2020) realizou em seu trabalho a implementação da ferramenta *web ECOS Modeling* como uma forma de preencher a lacuna referente à ausência de uma ferramenta que desse apoio à modelagem de ECOS, utilizando a notação SSN. Seu objetivo é fornecer um ambiente simplificado e padronizado para representar os atores, fluxos e relações comerciais de um ecossistema, atendendo à necessidade de ferramentas específicas que combinem facilidade de uso com aderência à metodologia SSN.

A solução foi concebida para oferecer funcionalidades práticas, como manipulação gráfica intuitiva, que incluem arrastar, soltar e conectar elementos em diagramas interativos. Ela também permite exportar os modelos em formatos como *Portable Network Graphics* (PNG), *Scalable Vector Graphics* (SVG), *Extensible Markup Language* (XML) e *JavaScript Object Notation* (JSON), facilitando a integração com outros sistemas e garantindo a possibilidade de edição futura. Dessa forma, a ferramenta atende tanto ao contexto educacional quanto ao mercado profissional.

Segundo Coutinho *et al.* (2017), a ferramenta foi utilizada para modelar o ecossistema de software SOLAR, um exemplo de ECOS educacional. O estudo destaca que a notação SSN foi fundamental para mapear as relações entre atores, como fornecedores de tecnologia e instituições de ensino, proporcionando uma melhor visão sobre o impacto das interações no desempenho do ecossistema. Essa aplicação inicial reforçou a importância de uma ferramenta adaptada às demandas específicas de ecossistemas educacionais.

Além de suas funções básicas, a ferramenta foi adaptada para atender ao contexto

Figura 10 – Tela Principal da Ferramenta ECOS Modeling.



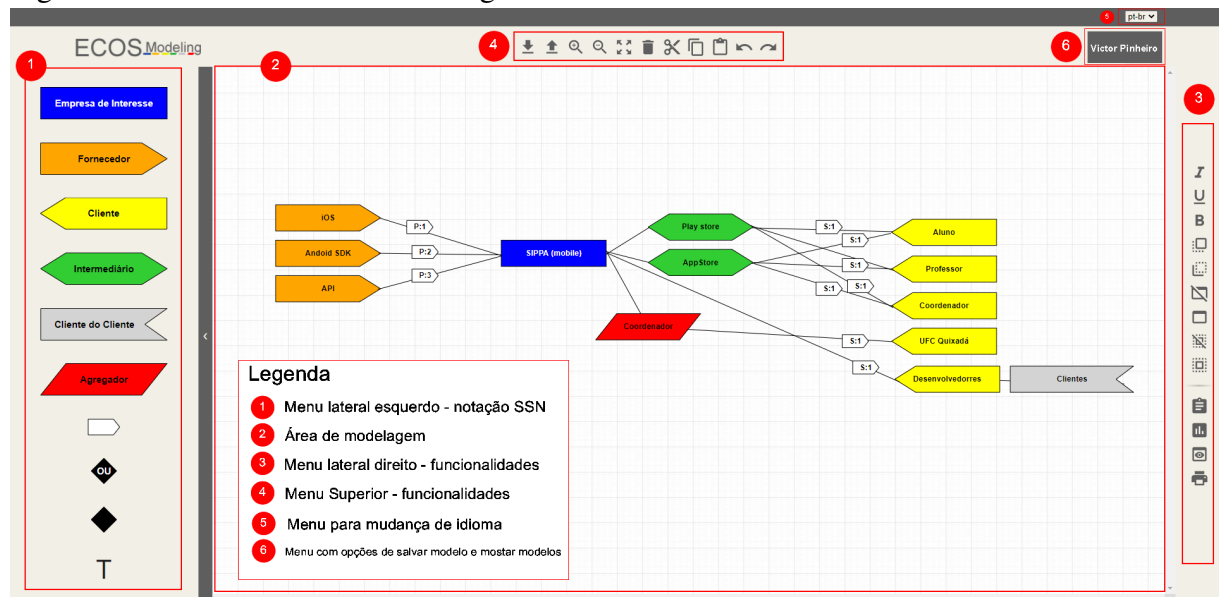
Fonte: PINHEIRO (2020).

acadêmico. Essa evolução reflete sua aplicabilidade como um recurso didático para ensinar os conceitos de ECOS e a notação SSN, incentivando estudantes e profissionais a compreenderem as dinâmicas de ecossistemas de software. Segundo PINHEIRO (2023), a ferramenta também atua como um repositório para armazenar modelos SSN, permitindo que modelos sejam armazenados, compartilhados e reutilizados entre os usuários, o que possibilita a colaboração entre pesquisadores e desenvolvedores. A Figura 10 mostra a tela principal da ferramenta.

A Figura 11 apresenta a tela da área de modelagem da ferramenta, com a notação SSN disposta no menu lateral esquerdo, a área de modelagem ao centro, as funcionalidades de manipulação do modelo no menu lateral direito na parte superior e na parte inferior as funcionalidade sobre as propriedades e estatísticas do modelo. No menu superior direito temos mais funcionalidades de manipulação do modelo, o menu de internacionalização no menu superior e o nome do usuário logado com as funcionalidades de salvar o modelo, novo modelo,

meus modelos e *logout* na aplicação.

Figura 11 – Tela da Parte de Modelagem SSN.



Fonte: PINHEIRO (2020).

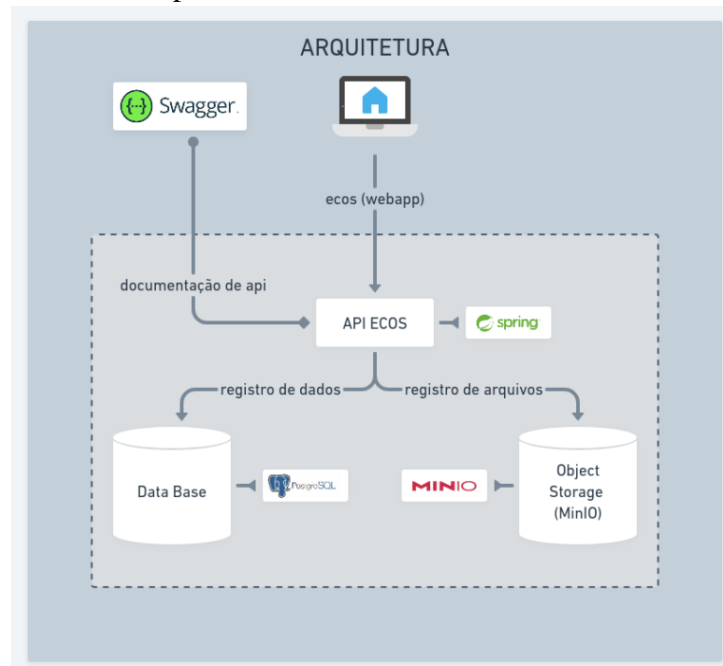
A arquitetura da ferramenta é composta por um *front-end* para interação com os usuários e um *back-end* para processamento de dados e armazenamento. O *front-end* foi desenvolvido utilizando o framework *Vue.js*, escolhido por sua flexibilidade e capacidade de criar interfaces dinâmicas. Ele permite que os usuários construam modelos interativos de forma intuitiva, manipulando elementos diretamente na interface gráfica.

Já o *back-end* utiliza a biblioteca *mxGraph* para renderização de gráficos e gerenciamento das operações de modelagem. Essa arquitetura garante que a ferramenta seja modular e escalável, possibilitando a adição de novas funcionalidades conforme necessário. A separação clara entre camadas de apresentação e lógica de negócios facilita a manutenção e o suporte técnico. A Figura 12 ilustra a arquitetura da aplicação *web* da ferramenta.

Segundo LIMA (2022), a versão mais recente da ferramenta adota uma arquitetura cliente-servidor com *Spring Boot* e banco de dados *PostgreSQL* para garantir maior estabilidade e segurança. Além disso, o uso de *MinIO* permite um gerenciamento eficiente dos arquivos armazenados, enquanto o *Swagger* auxilia na documentação e testes da API. Essa evolução na arquitetura possibilitou melhorias na escalabilidade da ferramenta e na sua capacidade de lidar com múltiplos usuários simultaneamente.

Coutinho *et al.* (2017) também enfatizam que a modularidade da ferramenta foi projetada para suportar futuras expansões, como a adição de novos tipos de atores e fluxos. Essa

Figura 12 – Arquitetura e Componentes da Ferramenta.



Fonte: LIMA (2022).

flexibilidade foi determinante para o sucesso na modelagem do ECOS SOLAR, garantindo que a ferramenta pudesse evoluir junto com as demandas do ecossistema.

A ferramenta apresenta os seguintes requisitos funcionais, cada um associado ao seu respectivo identificador. Esses requisitos descrevem os comportamentos esperados e a estrutura fundamental do sistema. As principais características destacadas a seguir têm como objetivo apoiar o processo de modelagem e garantir uma compreensão completa das funcionalidades previstas.

- **Cadastro de usuários:** Os usuários podem realizar um cadastro na ferramenta fornecendo nome, e-mail, instituição e senha. Esse registro permite salvar modelos no repositório da ferramenta e acessar funcionalidades exclusivas, garantindo uma experiência personalizada dentro da aplicação.
- **Login de usuários:** Para acessar seus modelos e recursos personalizados, os usuários podem realizar login utilizando e-mail e senha previamente cadastrados. Esse processo de autenticação garante a segurança dos dados e impede acessos não autorizados.
- **Alteração de dados cadastrais:** Os usuários podem modificar seus dados pessoais, incluindo nome, e-mail, instituição, senha e foto de perfil. Essa funcionalidade possibilita manter as informações sempre atualizadas conforme necessário.
- **Modelagem SSN de ECOS:** A ferramenta permite a criação de modelos de

ecossistemas de software utilizando a notação SSN. Os usuários podem manipular graficamente os elementos do modelo, arrastando e soltando componentes diretamente na interface interativa da ferramenta.

- **Salvar modelos SSN:** Os modelos criados podem ser salvos no repositório da ferramenta, permitindo que os usuários armazenem e consultem seus trabalhos posteriormente. Além disso, os modelos podem ser compartilhados com a comunidade para estudos e colaborações.
- **Atualização de dados dos modelos:** Os usuários podem editar os metadados dos modelos cadastrados, como nome, descrição, data de criação e categoria. Isso facilita a organização dos modelos dentro do repositório.
- **Exclusão de modelos:** Caso um usuário não deseje mais manter um modelo em sua conta ou torná-lo disponível para a comunidade, ele pode excluí-lo permanentemente da ferramenta. Essa funcionalidade assegura controle total sobre os modelos criados.
- **Edição de modelos do usuário:** Os usuários podem modificar seus modelos a qualquer momento, realizando ajustes estruturais e melhorias. Essa funcionalidade é essencial para a evolução contínua dos modelos, permitindo a adaptação a novas informações e exigências.
- **Visualização de modelos disponíveis:** Todos os modelos salvos na ferramenta podem ser visualizados pelos usuários, desde que estejam disponíveis publicamente no repositório. Essa funcionalidade promove a troca de conhecimento e a reutilização de modelos para novos estudos e pesquisas.
- **Geração de estatísticas de um modelo:** A ferramenta possibilita a extração de métricas estatísticas dos modelos criados, fornecendo dados quantitativos para estudos e análises. Essas estatísticas ajudam a avaliar padrões dentro dos ecossistemas de software modelados.
- **Análise de evolução de ECOS:** Com base nas estatísticas coletadas, os usuários podem gerar relatórios sobre a evolução de um **ECOS** ao longo do tempo. Essa funcionalidade permite a comparação entre diferentes versões do mesmo modelo, auxiliando na compreensão das mudanças e no desenvolvimento de estratégias para a melhoria do ecossistema.

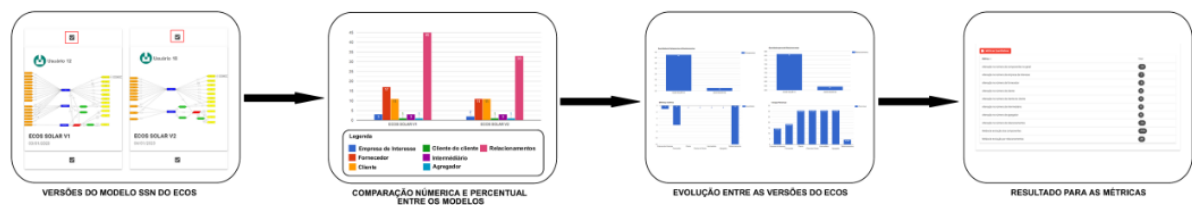
3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste Capítulo, serão apresentados os trabalhos relacionados, dando destaque para as semelhanças e diferenças com a proposta desenvolvida neste trabalho.

3.1 Uma Abordagem Baseada em Rede de Fornecimento de Software para Análise da Evolução de Ecossistemas de Software

Pinheiro e Coutinho (2024) apresentam um estudo que utiliza a notação SSN para analisar a evolução de ECOS através da modelagem. A abordagem é implementada por meio da ferramenta *ECOS Modeling*, que permite a representação gráfica e estatística dos componentes e relacionamentos dentro do ecossistema. A modelagem realizada permite observar alterações nos atores e conexões ao longo do tempo, gerando análises por meio de métricas quantitativas e qualitativas. O trabalho propõe também uma análise sistemática baseada em dados históricos, apresentando resultados em relatórios e gráficos que facilitam a identificação de tendências e mudanças. A Figura 13 ilustra o processo de análise da evolução de um ecossistema.

Figura 13 – Processo de Análise de Evolução de um ECOS.

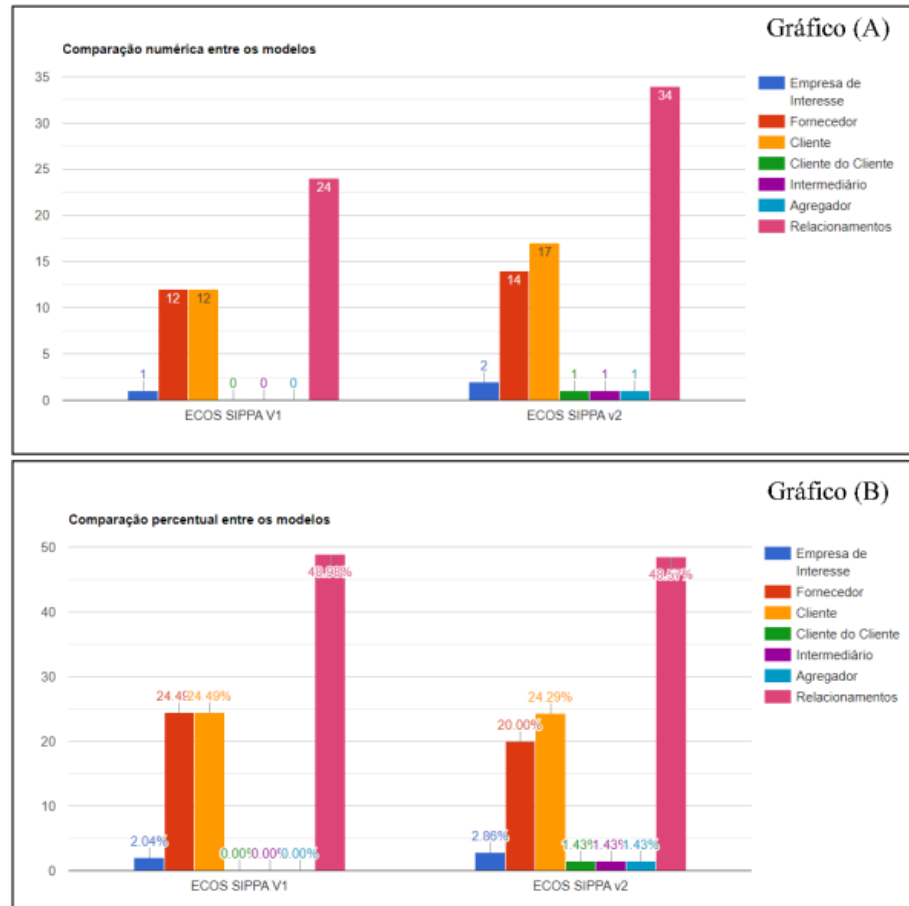


Fonte: Pinheiro e Coutinho (2024).

Os autores destacam que a evolução de um ECOS ocorre por meio do crescimento dos relacionamentos internos e externos entre seus atores, assim como pela expansão de interações com outros ecossistemas. Além disso, o estudo propõe uma análise sistemática da evolução utilizando dados históricos e estatísticos para gerar relatórios e gráficos que facilitam a compreensão de tendências e mudanças.

O estudo contribui diretamente para o entendimento e análise da evolução dos ecossistemas. A abordagem baseada em redes fornece ferramentas práticas para explorar como as interações internas e externas dos ECOS mudam ao longo do tempo. Essa perspectiva enriquece as bases teóricas do trabalho ao demonstrar a aplicabilidade da notação SSN e seus benefícios para capturar dinâmicas complexas, como a expansão de atores e interações, algo que

Figura 15 – Comparação Numérica e Percentual Entre as Versões do ECOS SIPPA.



Fonte: Pinheiro e Coutinho (2024).

3.2 Um Estudo Preliminar Sobre a Saúde de Ecossistemas de Software

Silva *et al.* (2021) analisam a saúde do ecossistema ECOS SOLAR, focando nos indicadores de robustez, produtividade e criação de nicho como principais parâmetros para avaliar sua estabilidade e crescimento. O conceito de saúde de um ECOS é descrito como a capacidade do sistema de se expandir, manter-se estável e oferecer oportunidades de inovação para seus membros. O trabalho utiliza o ECOS SOLAR como estudo de caso para demonstrar como esses fatores interagem para fortalecer o ecossistema, explorando exemplos como a resiliência a mudanças tecnológicas e a diversificação de funcionalidades. Os autores definem que a robustez de um ECOS refere-se à sua resiliência frente a mudanças, como a troca de tecnologias essenciais.

O estudo contribui para este trabalho fornecendo uma análise detalhada dos fatores que definem a saúde de um ecossistema de software, como robustez e produtividade. Tais aspectos são fundamentais para entender como um ECOS se mantém sustentável e inovador, temas que são centrais para a proposta deste trabalho. Além disso, o uso de métricas quantitativas

e qualitativas, bem como o foco na adaptação a mudanças e na diversificação, oferece uma base sólida para explorar métodos de análise e evolução aplicáveis a outros ECOS.

O que é proposto neste trabalho se assemelha ao trabalho de Silva *et al.* (2021). Ao valorizar a análise de métricas para compreender o desempenho de um ecossistema. A abordagem de combinar análises qualitativas e quantitativas para estudar o ECOS, destacando uma semelhança entre os dois trabalhos. O trabalho realizado também discute a importância de métricas quantitativas e qualitativas na avaliação da saúde de ECOS. Estudos como este são de grande importância para consolidar práticas e metodologias que possam ser replicadas em outros ecossistemas, incentivando a evolução contínua e a sustentabilidade das plataformas.

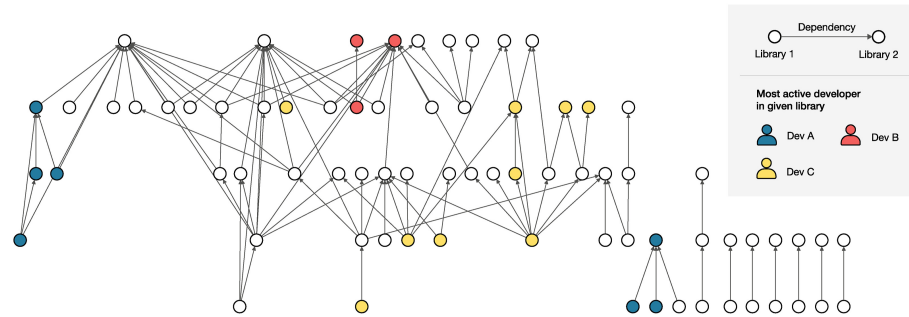
A principal diferença identificada entre o trabalho proposto e o estudo realizado por Silva *et al.* (2021) se dá por concentrar-se exclusivamente no ECOS SOLAR, analisando sua saúde a partir de indicadores específicos, enquanto a proposta deste trabalho adota uma abordagem mais ampla, aplicável a diversos ecossistemas. Além disso, o contexto aplicado e o alcance metodológico são os pontos mais distintos.

Os resultados do estudo de Silva *et al.* (2021) demonstram que a saúde do ECOS SOLAR é sustentada pela sua resiliência tecnológica, capacidade de inovação e criação de oportunidades. A adaptação do ecossistema a mudanças, como a substituição de tecnologias, reforça sua robustez, enquanto a inclusão de novas funcionalidades, como versões web e mobile, aumenta sua atratividade. A criação de nicho, por sua vez, fomenta novas oportunidades de negócios e fortalece a sustentabilidade do ECOS. Esses resultados indicam a importância de se adotar uma visão integrada e multifatorial ao analisar a saúde de ecossistemas de software, contribuindo para a evolução e manutenção de plataformas robustas e inovadoras.

3.3 Modelagem de Riscos Sociais e Técnicos interconectados em Ecossistemas de Software de Código Aberto

Schueller e Wachs (2024) apresentam uma abordagem para modelar riscos interconectados em ecossistemas *Open Source Software* - (OSS) Software de Código Aberto, integrando fatores sociais e técnicos. O estudo utiliza o ecossistema *Rust* como caso de análise, demonstrando como falhas técnicas e a saída de desenvolvedores-chave podem desencadear cascatas de falhas em redes de dependências. A proposta considera o impacto de desenvolvedores e bibliotecas críticos na resiliência do sistema, aplicando uma função de produção para medir a probabilidade de falhas com base na contribuição de desenvolvedores e dependências técnicas.

Figura 16 – As Dependências Entre as 100 Bibliotecas Mais Baixadas no Ecossistema *Rust*.



Fonte: Schueller e Wachs (2024).

Este estudo contribui diretamente para a proposta ao fornecer uma estrutura para avaliar os riscos sistêmicos em ecossistemas de software. A análise de interações sociais e técnicas complementa a visão holística necessária para entender a saúde dos ecossistemas. Ao explorar casos como o *Rust*, a abordagem enfatiza a importância de identificar componentes críticos e propor intervenções estratégicas, alinhando-se ao objetivo do trabalho de melhorar a sustentabilidade de ecossistemas de software.

Tanto o trabalho proposto quanto o estudo de Schueller e Wachs (2024) compartilham o objetivo de compreender e mitigar falhas em ecossistemas de software, considerando dependências críticas. Ambos reconhecem a importância de modelos analíticos para identificar vulnerabilidades e propor intervenções para aumentar a resiliência. A aplicação de simulações e métricas para avaliar impactos reforça a similaridade metodológica entre os trabalhos, destacando a importância de intervenções baseadas em dados.

Enquanto o estudo de Schueller e Wachs (2024) foca predominantemente em ecossistemas de código aberto, como *Rust*, o trabalho proposto busca aplicar conceitos para avaliar saúde e qualidade em diferentes contextos. Além disso, a proposta explora lacunas como a criação de novas métricas para avaliação de qualidade e saúde, enquanto o estudo analisado se concentra em adaptar métodos existentes de sistemas complexos.

O estudo revelou que a saída de desenvolvedores-chave pode levar a cascatas de falhas que impactam bibliotecas críticas, destacando a importância de uma alocação eficiente de recursos para mitigar esses riscos. Aplicando simulações ao ECOS *Rust*, os autores identificaram bibliotecas subvalorizadas, mas sistemicamente importantes, que poderiam beneficiar-se de intervenções direcionadas. Esses resultados reforçam a relevância de estratégias de priorização baseadas em riscos e a necessidade de intervenções que combinem análise técnica e social para garantir a resiliência de ecossistemas de software.

A Figura 16 traz uma ilustração da rede de dependências das bibliotecas mais

baixadas do *Rust*. As cores distintas servem para destacar três grupos que possuem o mesmo desenvolvedor onde, nesses grupos, um desenvolvedor faz a maioria dos *commits*.

3.4 O seu ecossistema de software está em perigo? Prevenindo a morte do ecossistema através de lições sobre saúde do ecossistema

Evertse *et al.* () investigam fatores que levaram ao colapso de quatro ecossistemas de software: *BlackBerry OS*, *Windows Phone*, *Symbian* e *Palm OS*. O estudo identifica como a subestimação de concorrentes, falta de inovação e gestão inadequada contribuíram para a decadência desses ecossistemas. Além disso, os autores propõem contramedidas para prevenir falhas semelhantes, incluindo a melhoria da qualidade de APIs e documentação, estratégias voltadas para desenvolvedores e adaptação às necessidades do mercado. A pesquisa se destaca por analisar a interdependência entre os problemas e propor soluções práticas para evitar a repetição desses erros em ecossistemas futuros.

Este estudo contribui significativamente para o trabalho proposto, pois identifica desafios críticos e soluções que garantem a saúde e a sustentabilidade dos ecossistemas de software. Ao analisar exemplos concretos de colapso, como a incapacidade da *Symbian* de gerenciar suas parcerias, o estudo concede um norte para entender os riscos associados a uma má gestão de ECOS. Esses aprendizados são fundamentais para enriquecer a análise de fatores que impactam a saúde dos ecossistemas abordados no trabalho proposto, fornecendo subsídios para propor soluções mais robustas.

A proposta e o estudo de Evertse *et al.* () compartilham a preocupação em compreender como fatores técnicos e organizacionais podem impactar a evolução de ecossistemas de software. Ambos enfatizam a importância de identificar riscos e propor soluções práticas para evitar a deterioração dos sistemas. A aplicação de estratégias para fortalecer a resiliência e atrair desenvolvedores também é um ponto de convergência, mostrando o alinhamento entre as duas abordagens em termos de objetivos e práticas sugeridas.

Enquanto o estudo de Evertse *et al.* () se concentra principalmente em ecossistemas que falharam, o trabalho proposto busca uma análise mais abrangente, incluindo ecossistemas saudáveis como referência para identificar práticas bem-sucedidas e encontrar possíveis riscos à saúde e qualidade destes mesmos ECOSs. Além disso, a proposta foca no desenvolvimento específico para avaliar a saúde e a qualidade de ECOS, enquanto o trabalho analisado adota uma abordagem narrativa e retrospectiva. Essa diferença de escopo permite ao trabalho proposto

expandir as aplicações práticas e a generalização dos resultados.

Os resultados de Evertse *et al.* () mostram que os problemas enfrentados pelos ECOS analisados não são isolados, mas parte de ciclos viciosos que combinam falta de inovação, má gestão de parcerias e perda de relevância no mercado. As contramedidas sugeridas, como melhorar a qualidade de APIs e investir em engajamento com desenvolvedores, são estratégias eficazes para evitar a repetição desses erros. Este estudo demonstra que a sobrevivência de ecossistemas depende de uma gestão proativa e de esforços contínuos para alinhar a evolução do software às demandas do mercado, contribuindo diretamente para práticas e diretrizes no trabalho proposto. O Quadro 2 traz os fatores que levaram ao desaparecimento dos ECOSs estudados por Evertse *et al.* ().

Quadro 2 – Princípios e Contramedidas de Extinção

Princípios de desaparecimento	Contramedidas
Subestimação do concorrente	Aumentar o conhecimento do mercado para aumentar a vantagem competitiva
Entrada tardia no mercado	Aumentar o conhecimento do mercado para aumentar a vantagem competitiva
Falta de inovação	Aumentar a qualidade do produto e ajustar a proposta de valor
Gestão incorreta do ecossistema (incluindo configuração incorreta do ecossistema)	Aumentar a qualidade do produto, aumentar a qualidade da plataforma e formular uma estratégia orientada para parceiros
Complexidade da arquitetura e código	Aumentar a qualidade do produto e formular uma estratégia orientada para parceiros
Falta de recursos (resultando em uma fraca defensibilidade)	Formular uma estratégia orientada para parceiros
Parcerias sem apoio	Formular uma estratégia orientada para parceiros

Fonte: Evertse *et al.* ()

3.5 Comparação dos Trabalhos Relacionados com o Proposto

No Quadro 3, está feita uma disposição de aspectos identificados entre os trabalhos apresentados neste capítulo. Os critérios foram definidos a partir das características relevantes estabelecidas neste trabalho e depois foram relacionados às características relevantes identificadas nos artigos relacionados, como foco em modelagem de ECOS, análise de robustez e outros aspectos pertinentes ao domínio. Os critérios de avaliação foram:

- **Análise prática:** Este critério verifica se o trabalho analisado inclui abordagens experimentais, como estudos de caso, simulações ou avaliações. Trabalhos que aplicam os conceitos em cenários reais contribuem para a validação de métodos e métricas voltadas para ECOS. Ele é relevante para compreender como os conceitos teóricos se traduzem em práticas reais.
- **Saúde/Qualidade:** Avalia se o estudo considera aspectos como robustez, sustentabilidade, produtividade e outros fatores que garantem a longevidade e a estabilidade dos ecossistemas, ou seja, sua capacidade de manter a estabilidade e funcionalidade ao longo do tempo. Aspectos que são diretamente relacionados e que fornecem saúde e qualidade para um ecossistema.
- **Estudo de caso:** Examina se os trabalhos incluem a aplicação prática das metodologias propostas em ECOS reais. A presença de estudos de caso reforça a validade das abordagens e permite compreender o impacto das soluções discutidas.
- **Metodologia/ferramenta:** Identifica se os trabalhos propõem novas metodologias ou ferramentas para análise e evolução de ECOS. Trabalhos que introduzem técnicas inovadoras ou aprimoram ferramentas existentes para modelagem e avaliação são considerados dentro desse critério.
- **Abordagem:** Determina se os trabalhos analisam a evolução de ecossistemas de software ao longo do tempo, utilizando dados históricos, métricas longitudinais ou modelos de previsão. Trabalhos que estudam padrões de crescimento, mudanças estruturais ou impactos de decisões estratégicas em ECOS são incluídos nesse critério.

Quadro 3 – Comparação entre os trabalhos relacionados e o trabalho proposto.

Trabalho	Análise Prática	Estudo de Caso	Saúde/Qualidade	Metodologia/Ferramenta	Abordagem
Pinheiro e Coutinho (2024)	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Silva <i>et al.</i> (2021)	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Schueller e Wachs (2024)	Sim	Não	Sim	Não	Não
Evertse <i>et al.</i> (2021)	Sim	Sim	Não	Não	Sim
Trabalho Proposto	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O Quadro 3 apresenta uma visão completa das principais características abordadas pelos trabalhos relacionados em comparação com a proposta deste estudo. É possível notar que os trabalhos analisados contribuem de forma relevante para a compreensão de aspectos específicos dos Ecossistemas de Software, como evolução, riscos, robustez ou colapso, porém

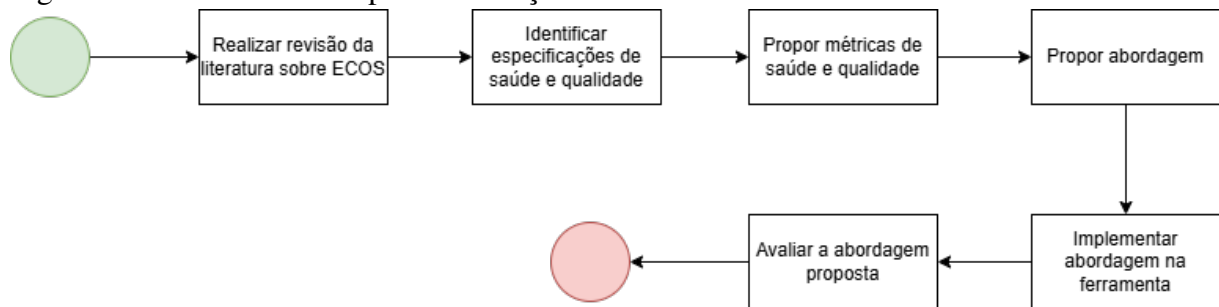
tendem a tratar esses temas de maneira isolada, sem integrar de forma sistemática a análise de saúde, qualidade, modelagem e suporte ferramental.

O trabalho proposto se difere por reunir esses elementos em uma única abordagem, apoiada por modelos SSN, métricas de saúde e qualidade, estudos de caso e uma ferramenta dedicada para automação da análise. Essa integração permite uma avaliação mais completa e estruturada do ecossistema, ampliando o escopo das abordagens existentes e contribuindo para o avanço das pesquisas voltadas à análise sistemática da saúde e qualidade de ECOSs.

4 METODOLOGIA

Neste Capítulo serão apresentados os passos para a realização deste trabalho. As etapas permitirão alcançar os objetivos propostos, incluindo a identificação dos principais conceitos, definição de especificações e métricas, desenvolvimento da abordagem prática e avaliação de sua eficácia. O fluxo metodológico está representado na Figura 17.

Figura 17 – Procedimentos para a execução do trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 Análise da literatura sobre ECOS, saúde, qualidade e modelagem

A primeira atividade deste trabalho será uma análise da literatura, com o objetivo de compreender os principais conceitos relacionados a ecossistemas de software (ECOS), saúde, qualidade e modelagem. Essa etapa buscará identificar como essas temáticas vêm sendo tratadas na área, quais desafios persistem e quais lacunas ainda carecem de aprofundamento. Nesse processo, também serão identificados e selecionados alguns dos trabalhos relacionados que servirão de base para a caracterização do estado da arte e para a fundamentação da abordagem proposta.

A revisão permitirá reconhecer que, apesar dos avanços na caracterização dos ECOS e na discussão sobre sustentabilidade, ainda existe uma carência de abordagens consolidadas para mensurar, de forma integrada, aspectos de saúde e qualidade. Também será identificado que métodos de modelagem existentes nem sempre oferecem meios suficientes para representar a complexidade estrutural e evolutiva desses ecossistemas, o que reforça a necessidade de instrumentos específicos para apoiar sua análise. Essas observações servirão como fundamentação para este trabalho, ao destacar que a avaliação integrada de saúde e qualidade permanece pouco explorada e que há espaço para o desenvolvimento de mecanismos direcionados à modelagem e análise de ecossistemas por meio da notação SSN.

4.2 Identificar especificações de saúde e qualidade para ECOS

Nesta etapa, com base nos resultados da análise da literatura, serão identificados os principais atributos e requisitos que definem saúde e qualidade em um ecossistema. Essa identificação será realizada por meio de um exame sistemático de estudos teóricos e práticos da literatura, envolvendo a análise comparativa de trabalhos que abordam aspectos como sustentabilidade, confiabilidade, desempenho, evolução e colaboração entre os participantes do ecossistema. O exame considerará como esses aspectos são definidos, medidos e analisados nos estudos, bem como sua aderência à modelagem baseada em SSN. A partir dessa análise, serão extraídos critérios e indicadores compatíveis com a representação estrutural e relacional dos ECOS em modelos SSN, assegurando alinhamento conceitual entre a literatura analisada e a abordagem proposta neste trabalho.

O objetivo será selecionar especificações que representem tanto práticas consolidadas quanto necessidades recorrentes observadas na literatura, garantindo que sejam adequadas para orientar a proposição de métricas e a futura avaliação da saúde e qualidade em ECOS.

4.3 Propor métricas de saúde e qualidade

Com base nas especificações identificadas, esta etapa consistirá na proposição de métricas para avaliar a saúde e a qualidade dos ECOS, seguindo os atributos definidos pela ISO/IEC 25000 (*SQuaRE*). Cada métrica será detalhada com sua definição, propósito, método de cálculo e contexto de uso, garantindo que sejam objetivas, mensuráveis e relevantes para a análise proposta.

A criação dessas métricas buscará atender a aspectos quantitativos, como indicadores de desempenho, e também qualitativos, como o engajamento dos participantes e a capacidade de adaptação a mudanças. Assim, as métricas comporão a base para avaliar, comparar e aprimorar a saúde e qualidade dos ECOS.

4.4 Propor a abordagem para avaliar a saúde e qualidade em ECOS

A abordagem proposta será construída integrando as métricas propostas ao modelo SSN, permitindo avaliar e monitorar a saúde e a qualidade dos ECOS. O modelo organizará as métricas em categorias correspondentes aos atributos da ISO/IEC 25000, como resiliência, adaptabilidade e sustentabilidade.

A descrição da abordagem apresentará os procedimentos para aplicação das métricas, os critérios de avaliação e o fluxo de utilização dentro do modelo SSN. Essa integração permitirá identificar como cada métrica incide sobre elementos específicos da rede, como atores, relações e fluxos de software.

Também será discutido como a abordagem contribuirá para superar as lacunas apontadas na literatura, fornecendo recursos para análises e tomadas de decisão em ecossistemas de software. Entre os benefícios esperados estão o apoio à melhoria contínua, a identificação de fragilidades estruturais e o aumento da confiança entre os participantes do ecossistema.

4.5 Implementar abordagem na ferramenta

A abordagem será implementada na ferramenta descrita por PINHEIRO (2020). A ferramenta foi desenvolvida como uma solução web para apoiar a modelagem de ecossistemas de software, utilizando a notação SSN e com uso de bibliotecas e *frameworks* como *Vue.js* e *mxGraph*.

O *mxGraph*, biblioteca de diagramação *JavaScript*, será utilizado para representar visualmente as relações entre os atores do ecossistema. O *Vue.js* permitirá a construção modular da interface e facilitará a integração da abordagem proposta.

Será realizada uma extensão das funcionalidades da ferramenta para implementar a abordagem e incorporar as métricas definidas. Também será realizada a integração de fluxos de dados para armazenar e recuperar informações sobre saúde e qualidade dos ECOS, garantindo alinhamento com a norma ISO/IEC 25000.

4.6 Avaliar abordagem proposta

A etapa final será a avaliação da ferramenta com a abordagem proposta para verificar sua eficácia após a implementação na *ECOS Modeling*. A avaliação será realizada com alunos de graduação que tenham cursado disciplinas relacionadas a ecossistemas de software ou engenharia de software. O processo será dividido em três etapas: planejamento, execução e análise dos dados, sendo baseado nos princípios do *Technology Acceptance Model (Technology Acceptance Model (TAM))*.

4.6.1 Planejamento

Será elaborado um plano de avaliação voltado para os alunos, contendo um roteiro estruturado com instruções e atividades práticas, além de um questionário composto por itens em escala Likert e por questões abertas para coleta de dados quantitativos e qualitativos sobre clareza, facilidade de uso e utilidade da abordagem.

4.6.2 Execução

Durante a execução online, uma média de 15 alunos receberão uma apresentação introdutória sobre a abordagem, as métricas desenvolvidas e as funcionalidades da ferramenta. Em seguida, utilizarão o roteiro como um guia para executar as atividades de modelagem e aplicar as métricas disponibilizadas na interface da ferramenta.

Após a conclusão das tarefas, os participantes responderão ao questionário. Esse procedimento permitirá coletar informações consistentes sobre a experiência de uso, bem como identificar dificuldades na aplicação das métricas ou na interação com o modelo SSN.

4.6.3 Análise dos dados coletados

Os dados quantitativos serão analisados por meio de estatísticas descritivas, considerando a média e a distribuição das respostas na escala Likert. Esses resultados permitirão avaliar tendências gerais e padrões de aceitação da abordagem.

Os dados qualitativos provenientes das questões abertas serão analisados por meio de uma categorização temática. Inicialmente, as respostas serão lidas de forma integral, buscando a familiarização com o conteúdo e a identificação de ideias recorrentes. Em seguida, serão definidos códigos iniciais que representem temas relevantes, como pontos fortes, limitações percebidas, dificuldades de uso e sugestões de melhoria. Esses códigos serão então agrupados em categorias mais amplas, permitindo a identificação de padrões e recorrências nas percepções dos participantes.

Essa análise possibilitará compreender aspectos subjetivos da experiência de uso da ferramenta e da abordagem, complementando os resultados quantitativos. Além disso, as categorias identificadas servirão de base para discutir pontos de atenção e direcionar melhorias em versões futuras da abordagem proposta.

5 ABORDAGEM DE ANÁLISE DE SAÚDE E QUALIDADE DE ECOS

Este Capítulo apresenta a abordagem desenvolvida para a análise da saúde e qualidade de ECOS por meio de modelos SSN. Na Seção 5.1 descreve o funcionamento geral da abordagem e o fluxo de etapas que orienta sua aplicação. Na Seção 5.2 apresenta os dados e modelos SSN utilizados como base para os testes. A Seção 5.3, são apresentadas as métricas propostas, incluindo suas dimensões e métodos de cálculo. Por fim, a Seção 5.4 descreve a implementação da abordagem na ferramenta *ECOS Modeling*.

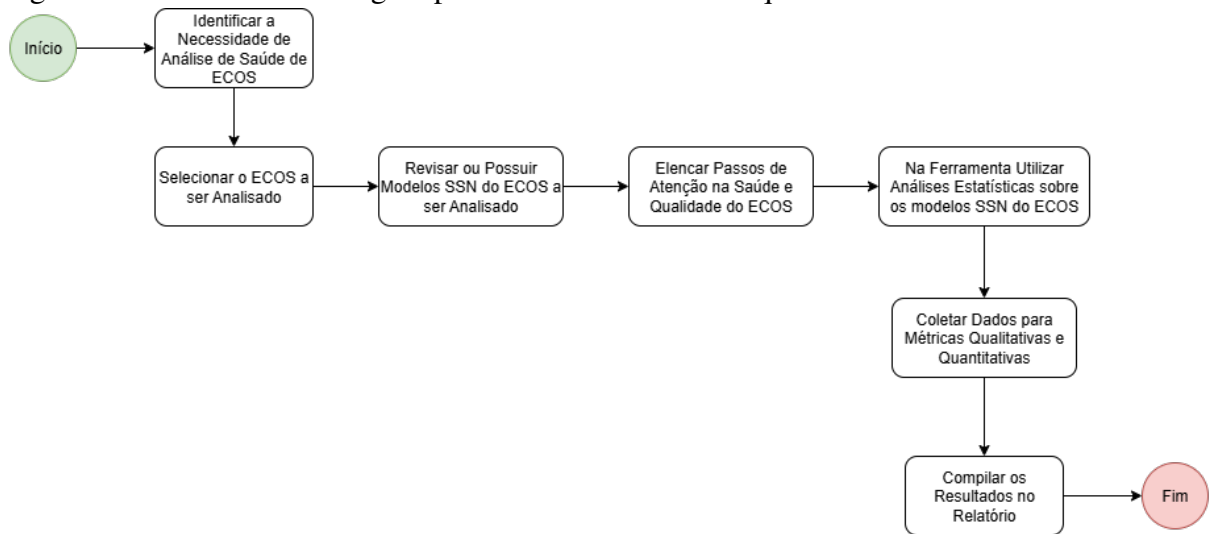
5.1 Abordagem

A abordagem proposta tem como objetivo servir como orientação para a avaliação estruturada da saúde e da qualidade de Ecossistemas de Software a partir dos modelos SSN. O processo utiliza informações estruturais desses modelos para apoiar análises estatísticas e cálculos de métricas, possibilitando a identificação de atributos como sustentabilidade, modularidade, estabilidade e participação dos elementos do ecossistema.

Para realizar a análise é preciso seguir uma sequência de passos. Esses passos são: (I) Identificar a necessidade da análise de saúde do ECOS; (II) Selecionar o ECOS a ser analisado; (III) Possuir modelos SSN do ECOS a ser analisado; (IV) Elencar Pontos de Atenção na saúde e qualidade do ECOS; (V) Na ferramenta utilizar análises estatísticas sobre os modelos SSN do ECOS; (VI) Coletar dados para métricas qualitativas e quantitativas; (VII) Compilar os resultados no relatório.

No contexto da avaliação conduzida com os estudantes, os quatro primeiros passos foram realizados previamente pelo autor, de modo que os participantes pudessem se concentrar exclusivamente na utilização prática da ferramenta *ECOS Modeling* e da abordagem de análise proposta. A Figura 18 ilustra o fluxo lógico da abordagem com os passos a serem realizados. Ainda assim, embora a abordagem seja apresentada de forma sequencial, ela não é estritamente linear, permitindo o retorno a etapas anteriores sempre que necessário, seja para ajustes nos modelos, redefinição de pontos de atenção ou correções identificadas durante a análise.

Figura 18 – Fluxo da abordagem para a análise da saúde e qualidade de ECOS.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

- **Identificar a necessidade da análise de saúde do ECOS:** A primeira etapa é verificar se existe alguma justificativa para avaliar o ECOS. Exemplos incluem alterações estruturais relevantes, aumento de complexidade, ocorrência recorrente de falhas, mudanças na base de participantes ou necessidade de apoiar decisões relacionadas à evolução do ecossistema. A identificação prévia do escopo permite direcionar a análise e estabelecer critérios claros.
- **Selecionar o ECOS a ser Analisado:** Nesta etapa, é definido qual ecossistema será analisado. Podem ser utilizados ecossistemas previamente modelados, como o SOLAR, ou novos para estudo, além de algum ECOS descontinuado, como SIPPA quando o objetivo for identificar fatores de declínio. A seleção vai determinar o contexto da análise e orientar a coleta de modelos e dados.
- **Possuir modelos SSN do ECOS a ser analisado:** A análise depende de modelos SSN atualizados. Caso já existam, eles devem ser revisados para garantir consistência, caso não existam, devem ser construídos. A atualização assegura que os dados reflitam a estrutura atual do ECOS, permitindo que os resultados sejam válidos e comparáveis.
- **Elencar Pontos de Atenção na saúde e qualidade do ECOS:** São estabelecidos os aspectos que serão observados durante a análise, como conectividade, dependências estruturais, concentração de relações, presença de elementos críticos, ou sinais de fragilidade estrutural. Esses pontos orientam o uso das métricas e organizam o foco analítico.

- **Na ferramenta utilizar análises estatísticas sobre os modelos SSN do ECOS:** Após realizar a revisão dos modelos e os pontos de atenção definidos, a ferramenta ECOS *Modeling* é utilizada. A ferramenta calcula estatísticas estruturais a partir dos modelos SSN, permitindo medir características como relações entre elementos, densidade, distribuição de conexões e centralidade. Esses dados servirão de base para as métricas.
- **Coletar dados para métricas qualitativas e quantitativas:** Nesta etapa são reunidos os dados necessários para o cálculo das métricas definidas no Capítulo de Métricas. Os dados quantitativos são obtidos automaticamente a partir dos modelos SSN. Já os dados qualitativos são definidos com base em critérios analíticos, possibilitando complementar a interpretação dos resultados.
- **Compilar os resultados no relatório:** Os resultados quantitativos e qualitativos são organizados e reunidos em um relatório. O documento apresenta os valores calculados, interpretações correspondentes, limitações observadas e pontos relevantes para compreensão do estado do ecossistema. A consolidação facilita comparações futuras e apoia a formulação de recomendações.

5.2 Dados Numéricos dos modelos SSN

Para a aplicação da abordagem, foram utilizados modelos SSN que representam a estrutura e os relacionamentos internos de diferentes ECOS. Esses modelos servem como base para gerar os dados quantitativos usados no cálculo das métricas de saúde e qualidade. A escolha dos modelos permite avaliar ecossistemas com distintos níveis de complexidade e maturidade, incluindo exemplos ativos e um ecossistema descontinuado.

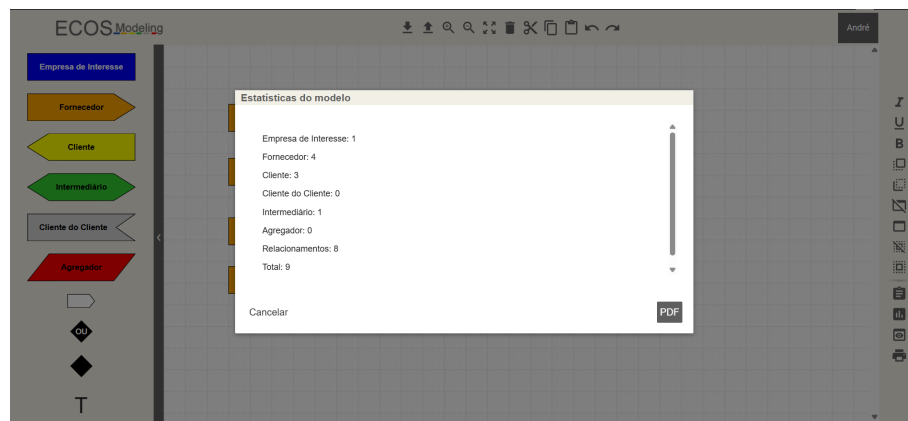
Os modelos representam elementos do ecossistema, suas dependências e o fluxo de interações entre eles. A partir dessas informações estruturais, são extraídos indicadores como quantidade de elementos, relações entre nós, distribuição de dependências e padrões estruturais relevantes para as métricas propostas. Os dados obtidos são utilizados exclusivamente para fins de validação da abordagem e não refletem características funcionais ou de negócio dos ecossistemas analisados.

As Figuras Table 19, Table 20 e Table 21 ilustram, de forma resumida, os modelos

utilizados nesta Seção e o tipo de informação que pode ser extraída a partir deles. As duas primeiras figuras apresentam a estrutura dos modelos e evidenciam os elementos quantitativos que podem ser diretamente coletados, como número de atores, componentes e relacionamentos. Esses dados representam a base estatística necessária para o cálculo das métricas de saúde e qualidade do ecossistema.

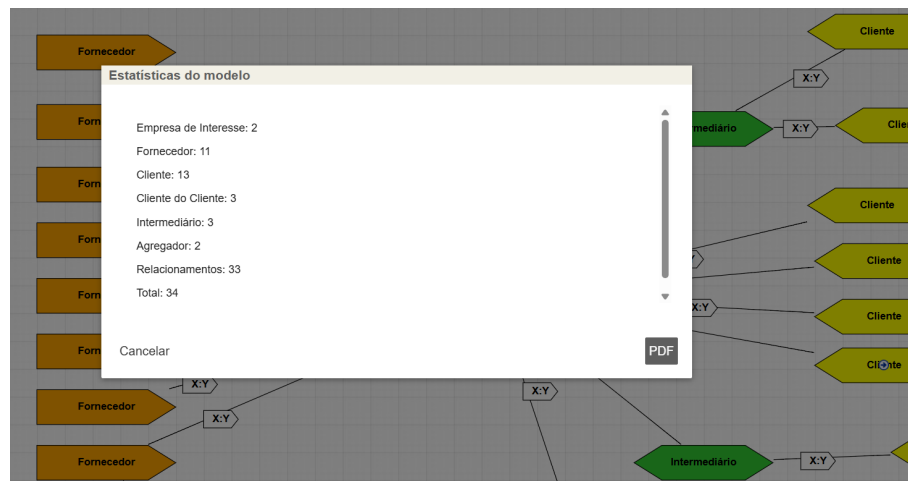
A terceira figura, por sua vez, apresenta o resultado das comparações entre versões dos modelos, evidenciando como os elementos estruturais identificados anteriormente são utilizados para realizar os cálculos das métricas evolutivas, como variações, retenção e crescimento. Em conjunto, essas representações demonstram que os modelos não apenas descrevem a estrutura do ecossistema, mas também fornecem os insumos necessários para a execução das análises automatizadas realizadas pela ferramenta *ECOS Modeling*, que gera métricas como grau médio, densidade, centralidade e número de relacionamentos, servindo de base para as análises apresentadas no capítulo seguinte.

Figura 19 – Dados Numéricos do Modelo Genérico versão 1



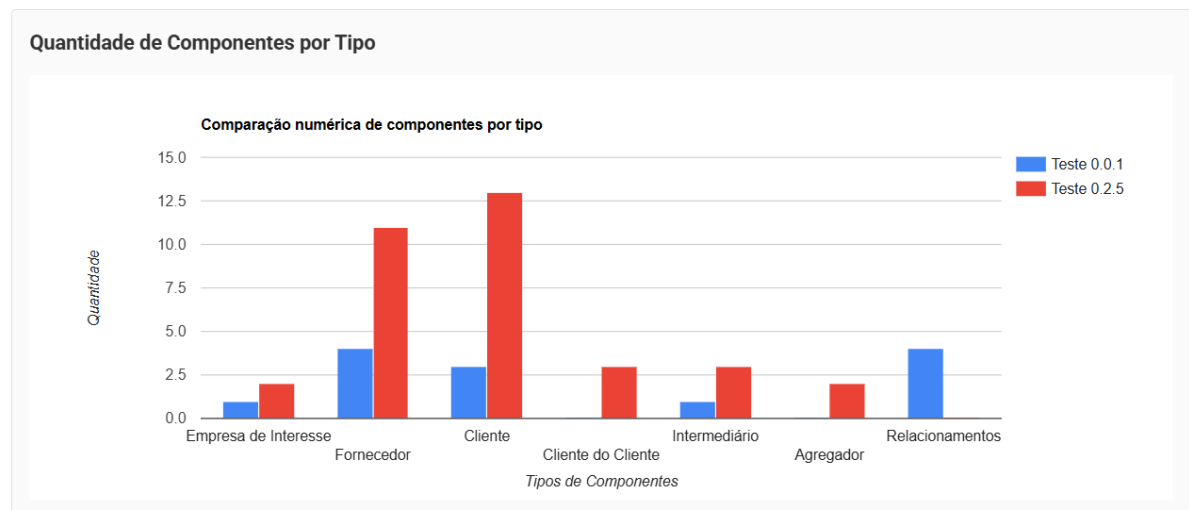
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 20 – Dados Numéricos do Modelo Genérico 2



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 21 – Gráfico de dados para a comparação dos modelos SSN genéricos



Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.3 Métricas de saúde e qualidade em ECOS

Esta Seção apresenta o conjunto de métricas definidas para apoiar a análise da saúde e qualidade de ECOS. As métricas fornecem dados quantitativos e qualitativos para avaliar o estado atual do ecossistema, permitindo identificar fragilidades, capacidades estruturais e possíveis tendências de evolução. A definição dessas métricas foi orientada pela revisão da literatura, pelos atributos de qualidade estabelecidos na ISO/IEC 25000 e pelas informações estruturais obtidas por meio da modelagem SSN.

As métricas foram organizadas em quatro categorias: (I) métricas de saúde, que avaliam vitalidade e sustentabilidade; (II) métricas de qualidade técnica, que analisam carac-

terísticas associadas ao desenvolvimento dentro do ecossistema; (III) métricas derivadas da modelagem SSN, que consideram a estrutura e as relações entre os elementos; e (IV) métricas de evolução, que observam padrões de crescimento e estabilidade ao longo do tempo. Essa organização facilita uma análise organizada que leva em conta os diferentes fatores que afetam o funcionamento de um ECOS.

5.3.1 Métricas de Saúde

As métricas de saúde têm como objetivo avaliar a vitalidade e a estabilidade do ecossistema, considerando sua capacidade de manter participantes, adaptação a mudanças e preservar uma estrutura funcional ao longo do tempo. Nesta Seção, são apresentadas as métricas de saúde adotadas neste trabalho, organizadas de acordo com quatro atributos centrais identificados na literatura: sustentabilidade, robustez, produtividade e capacidade adaptativa. O Quadro 4 reúne as métricas de maneira resumida.

Quadro 4 – Métricas de Saúde de Ecossistemas de Software

Métrica	Descrição resumida
Retenção de Atores	Mede a permanência de participantes entre versões do ecossistema, indicando estabilidade e engajamento.
Capacidade de Regeneração	Verifica se atores removidos são substituídos funcionalmente por novos participantes. Avalia adaptabilidade.
Interdependência Estrutural	Avalia o grau médio de dependências entre atores; menor interdependência indica maior robustez.
Taxa de Introdução de Novos Componentes	Quantifica a criação de novos serviços ou aplicações entre versões, refletindo produtividade.
Nível de Dinamismo Estrutural	Mede alterações estruturais no modelo SSN (adições, remoções, modificações), indicando dinamismo.
Adoção de Tecnologias Emergentes	Indica modernização tecnológica a partir do uso crescente de tecnologias emergentes no ecossistema.

Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Retenção de Atores**

Avalia a proporção de atores que permanecem no ecossistema entre duas versões consecutivas, indicando estabilidade e continuidade.

$$\text{Retenção} = \frac{\text{Atores mantidos}}{\text{Atores da versão anterior}}$$

- **Capacidade de Regeneração**

Mede a substituição funcional de atores removidos, representando a capacidade adaptativa do ECOS.

$$\text{Regeneração} = \frac{\text{Atores substituídos}}{\text{Atores removidos}}$$

- **Interdependência Estrutural**

Avalia a média de relacionamentos por ator no modelo SSN. Ecossistemas com menor dependência tendem a ser mais robustos.

$$\text{Interdependência} = \frac{\text{Total de relacionamentos}}{\text{Total de atores}}$$

- **Taxa de Introdução de Novos Componentes**

Mede a proporção de novos componentes adicionados entre versões, refletindo produtividade e inovação.

$$\text{Taxa de Introdução} = \frac{\text{Componentes novos}}{\text{Componentes da nova versão}}$$

- **Nível de Dinamismo Estrutural**

Quantifica alterações estruturais no modelo SSN, incluindo adições, remoções e modificações.

$$\text{Dinamismo} = \frac{\text{Elementos alterados}}{\text{Elementos da nova versão}}$$

- **Adoção de Tecnologias Emergentes**

Avalia a presença e evolução de tecnologias emergentes no ecossistema, indicando modernização tecnológica.

$$\text{Adoção} = \frac{\text{Comp. emergentes}_{V2} - \text{Comp. emergentes}_{V1}}{\text{Total comp.}_{V2}}$$

5.3.2 Métricas de Qualidade

As métricas de qualidade técnica avaliam características estruturais dos componentes do ecossistema, com foco em modularidade, reutilização e maturidade técnica. Elas permitem identificar o grau de organização interna do ECOS, bem como as práticas que favorecem a manutenção, evolução e a consistência dos componentes.

O Quadro 5 apresenta as métricas consideradas neste trabalho, definidas com base na literatura de engenharia de software e nos elementos observáveis nos modelos SSN.

Quadro 5 – Métricas de Qualidade Técnica de Ecossistemas de Software

Métrica	Descrição resumida
Modularidade Técnica	Mede o grau de independência entre componentes, considerando a relação entre dependências e tamanho do ecossistema. Maior modularidade facilita manutenção e evolução.
Reusabilidade de Componentes	Avalia a proporção de componentes que aparecem em múltiplas versões ou contextos, indicando consistência e reaproveitamento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Modularidade Técnica**

Avalia o grau de independência entre os componentes do ecossistema. A modularidade foi normalizada para variar entre 0 e 1, evitando valores negativos.

$$\text{Modularidade} = 1 - \frac{\text{Relacionamentos}}{\text{Componentes} \times (\text{Componentes} - 1)}$$

Quanto mais próximo de 1, maior a modularidade.

- **Reusabilidade de Componentes**

Mede a proporção de componentes que aparecem em mais de uma versão ou contexto do ecossistema.

$$\text{Reusabilidade} = \frac{\text{Componentes reutilizados}}{\text{Total de componentes únicos}}$$

5.3.3 Métricas Baseadas em Modelos SSN

As métricas baseadas em modelos SSN analisam a estrutura relacional do ecossistema, considerando o papel dos atores, o grau de conectividade e a existência de dependências

estruturais críticas. A modelagem SSN permite identificar padrões de centralidade, densidade e fragilidade estrutural, oferecendo indicadores importantes para avaliar a robustez e a resiliência do ECOS.

O Quadro 6 apresenta os detalhes das métricas utilizadas nesta categoria.

Quadro 6 – Métricas Baseadas em Modelos SSN

Métrica	Descrição resumida
Centralidade do Keystone	Avalia a proporção de conexões diretas do ator central (keystone) em relação ao total possível. Indica influência e dependência estrutural.
Densidade da Rede	Mede quão conectada é a rede SSN, comparando relacionamentos existentes com o número máximo teoricamente possível.
Dependências Críticas	Identifica relacionamentos sem alternativas funcionais, representando pontos de fragilidade estrutural no modelo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Centralidade do Keystone**

Avalia o quanto o ator central depende ou é dependido pelos demais. A centralidade é normalizada pelo número máximo de conexões possíveis.

$$\text{Centralidade}_{ks} = \frac{C_{ks}}{N - 1}$$

onde C_{ks} é o número de conexões diretas do keystone e N é o total de atores.

- **Densidade da Rede**

Indica o nível geral de conectividade do ECOS. Quanto maior a densidade, maior a interação estrutural.

$$\text{Densidade} = \frac{2 \times R}{N(N - 1)}$$

onde R é o número de relacionamentos e N é o número total de atores.

- **Dependências Críticas**

Representa o número de relacionamentos essenciais que não possuem redundância funcional no modelo SSN. Quanto maior o valor, maior a vulnerabilidade estrutural.

$$\text{DepCrit} = \frac{\text{Relacionamentos críticos}}{\text{Total de relacionamentos}}$$

5.3.4 Métricas de Evolução

As métricas de evolução analisam mudanças estruturais no ecossistema entre diferentes versões dos modelos SSN. Esses indicadores permitem avaliar o crescimento, estabilidade e transformação do ECOS, considerando variações no número de atores, na configuração das dependências e na quantidade total de relacionamentos. A partir desses dados, é possível identificar tendências de expansão, consolidação ou reorganização estrutural.

O Quadro 7 apresenta a descrição das métricas presentes nesta categoria.

Quadro 7 – Métricas de Evolução de Ecossistemas de Software

Métrica	Descrição resumida
Crescimento de Atores	Quantifica a adição de novos participantes entre versões do modelo SSN, indicando expansão do ecossistema.
Estabilidade de Dependências	Avalia o quanto as conexões entre atores permanecem consistentes ao longo do tempo. Maior estabilidade sugere estrutura consolidada.
Variação Percentual de Relacionamentos	Compara a mudança percentual na quantidade total de relacionamentos entre versões.
Variação Absoluta de Componentes	Mede a diferença total de elementos (atores, serviços ou componentes) entre duas versões consecutivas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Crescimento de Atores**

Avalia o aumento de participantes no ecossistema entre duas versões.

$$\text{Crescimento} = \frac{|A_{v2} - A_{v1}|}{|A_{v1}|} \times 100$$

onde A_{v1} e A_{v2} são os conjuntos de atores em cada versão.

- **Estabilidade de Dependências**

Mede a proporção de relacionamentos que se mantêm iguais entre versões.

$$\text{Estabilidade} = \frac{|R_{v1} \cap R_{v2}|}{|R_{v1} \cup R_{v2}|} \times 100$$

onde R_{v1} e R_{v2} são os conjuntos de relacionamentos.

- **Variação Percentual de Relacionamentos**

Indica aumento ou redução na quantidade de vínculos entre atores.

$$\text{VarRel} = \frac{R_{v2} - R_{v1}}{R_{v1}} \times 100$$

- **Variação Absoluta de Componentes**

Diferença total no número de elementos entre versões consecutivas.

$$\Delta C = |C_{v2}| - |C_{v1}|$$

5.3.5 Métricas Quantitativas

As métricas quantitativas correspondem a indicadores numéricos obtidos diretamente dos modelos SSN. A partir desses valores, é possível realizar análises precisas sobre o desenvolvimento do ecossistema, permitindo comparar versões, identificar tendências estruturais e observar padrões de crescimento ou redução no ECOS. Como se baseiam em contagens e proporções claramente definidas, essas métricas favorecem a automatização dos cálculos e sua incorporação ao módulo de análise da ferramenta *ECOS Modeling*.

O Quadro 8 apresenta as métricas quantitativas utilizadas neste trabalho. Todas derivam das categorias definidas anteriormente, com foco específico em sua natureza numérica.

5.3.6 Métricas Qualitativas

As métricas qualitativas complementam a análise numérica ao permitir uma avaliação interpretativa da saúde, qualidade e desenvolvimento do ecossistema. Esse conjunto de indicadores considera características que não podem ser mensuradas exclusivamente por cálculos, mas que exigem apreciação do contexto, da estrutura e do papel dos componentes ao longo do tempo. Tais métricas possibilitam examinar aspectos como adaptabilidade, capacidade de inovação e robustez estrutural. Dessa forma, reforçam as avaliações quantitativas ao oferecer uma perspectiva mais ampla sobre o comportamento do ECOS em diferentes versões.

O Quadro 9 apresenta as principais métricas qualitativas utilizadas neste estudo.

Quadro 8 – Métricas Quantitativas de Ecossistemas de Software

Id	Métrica	Descrição resumida
01	Retenção de Atores	Mede a proporção de participantes que permanecem no ecossistema entre versões sucessivas.
02	Capacidade de Regeneração	Avalia se os atores removidos são substituídos funcionalmente entre versões do modelo.
03	Interdependência Estrutural	Indica a média de relacionamentos associados a cada ator no modelo SSN.
04	Taxa de Introdução de Novos Componentes	Quantifica a proporção de componentes que passam a integrar o ecossistema em relação à versão anterior.
05	Nível de Dinamismo Estrutural	Mede a proporção de elementos inseridos, removidos ou modificados entre versões do modelo.
06	Adoção de Tecnologias Emergentes	Avalia o crescimento relativo da presença de tecnologias emergentes no ecossistema.
07	Modularidade Técnica	Expressa o grau de independência entre componentes com base na razão entre relacionamentos e nós.
08	Reusabilidade de Componentes	Indica a quantidade de componentes reaproveitados em diferentes versões do ecossistema.
09	Centralidade do Keystone	Mostra a porcentagem de ligações diretas do ator central em relação ao total possível.
10	Densidade da Rede	Compara o número de relacionamentos existentes com o número máximo de conexões permitidas.
11	Crescimento de Atores	Quantifica o número de novos participantes adicionados ao ecossistema entre versões consecutivas.
12	Estabilidade de Dependências	Avalia a permanência dos relacionamentos entre duas versões do modelo SSN.
13	Variação Percentual de Relacionamentos	Indica o aumento ou redução percentual no total de conexões entre versões.
14	Variação Absoluta de Componentes	Mostra a diferença total de elementos entre duas versões consecutivas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 9 – Métricas Qualitativas de Ecossistemas de Software

Id	Descrição
01	Capacidade de Regeneração: Examina se a saída de atores é acompanhada pela entrada de novos participantes que assumem funções equivalentes, refletindo o grau de adaptabilidade do ecossistema frente à perda de elementos estruturais.
02	Adoção de Tecnologias Emergentes: Analisa o nível de modernização tecnológica do ecossistema com base na presença e no crescimento de componentes que utilizam tecnologias emergentes, indicando tendências de evolução e atualização técnica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 Proposta Implementada na Ferramenta

A abordagem proposta para a análise da saúde e qualidade de ecossistemas de software foi integrada ao ambiente *ECOS Modeling*, permitindo a execução automatizada das métricas definidas neste trabalho a partir dos modelos SSN armazenados na ferramenta. A integração consiste na inclusão de um módulo responsável por processar os modelos selecionados, calcular as métricas quantitativas e qualitativas e apresentar os resultados em formato estruturado.

A Figura 22 ilustra a área da ferramenta destinada à execução das análises. Nessa interface, o usuário pode selecionar diferentes versões de modelos SSN de um mesmo ecossistema para que o módulo de análise aplique automaticamente as métricas de saúde, qualidade técnica, estrutura relacional e evolução.

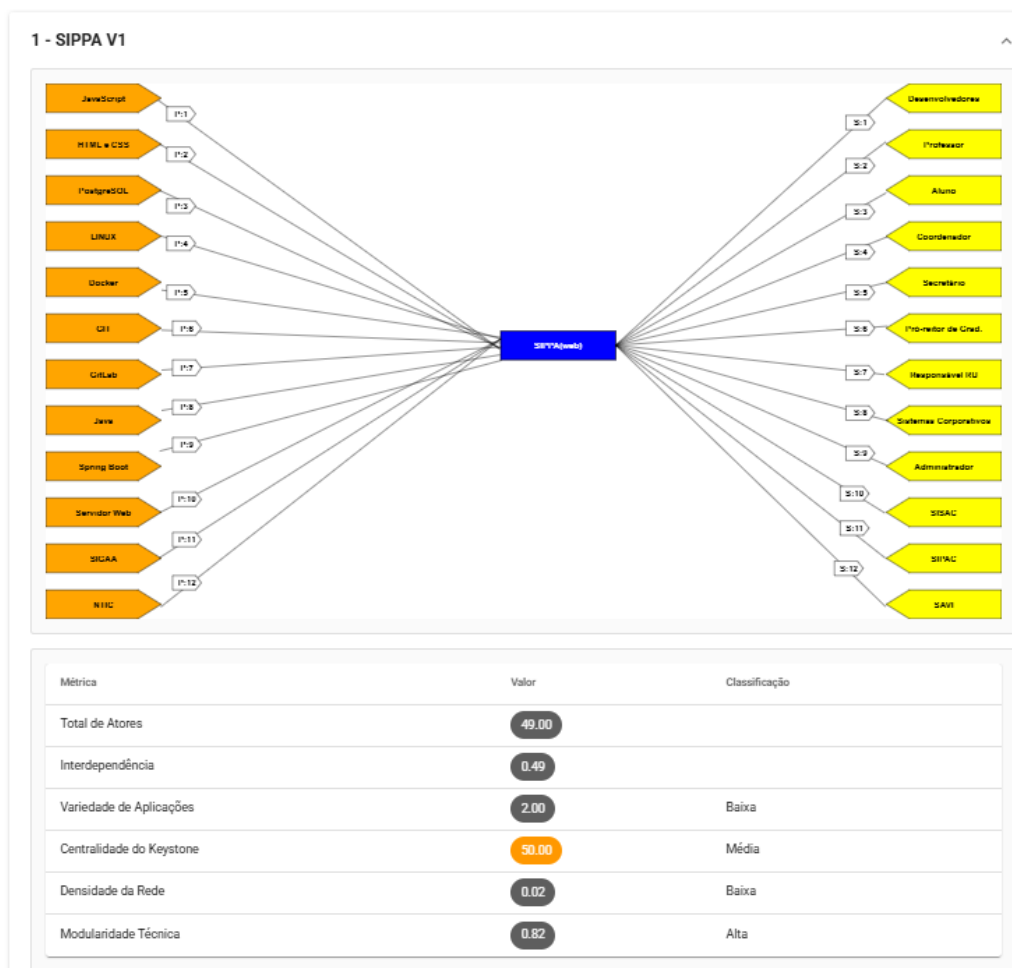
Figura 22 – Área da ferramenta responsável pela análise automatizada de saúde e qualidade.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Após a seleção dos modelos, a ferramenta processa os dados estruturais do SSN e gera automaticamente indicadores numéricos, percentuais e gráficos referentes às métricas definidas. Os resultados individuais permitem observar, em cada versão do ecossistema, características como o número total de componentes, relacionamentos, valores de modularidade, centralidade, densidade da rede, retenção de atores e demais métricas quantitativas e qualitativas. A Figura 23 exemplifica a visualização dos resultados individuais.

Figura 23 – Exemplo de resultados individuais para uma versão do modelo SSN.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A ferramenta também apresenta uma análise comparativa entre as versões selecionadas. Essa comparação é estruturada em gráficos e tabelas que mostram variações absolutas e relativas entre versões, permitindo identificar mudanças no número de atores, relacionamentos, componentes, métricas estruturais e indicadores de evolução. A Figura 24 apresenta um exemplo de visualização comparativa.

Figura 24 – Exemplo de gráficos comparativos entre versões.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Além dos gráficos, a ferramenta gera tabelas com valores consistentes, permitindo observar de forma objetiva as diferenças entre versões para cada métrica calculada. Essas tabelas apresentam, para cada indicador, valores absolutos, variações percentuais e diferenças diretas entre os modelos analisados. A Figura 25 exemplifica essa apresentação.

Figura 25 – Exemplo de tabelas com as métricas calculadas e suas variações.

Comparação Geral de Métricas		
Métrica	SIPPA V1	ECOS SIPPA V2
Atores Retidos	-	49
Taxa de Retenção (%)	-	100%
Taxa de Lançamento (%)	-	26.87%
Variedade de aplicações	2	5
Atividade da Comunidade	-	27.0%
Modularidade	0.82	-0.49
Reusabilidade	-	73.0%
Crescimento de Atores	-	37.0%
Estabilidade de Dependências	-	100.0%
Variação Relacionamentos (%)	-	-58.3%

Métricas Quantitativas		
Métrica	SIPPA V1	ECOS SIPPA V2
Total de Componentes	49	67
Total de Relacionamentos	24	10
Modularidade	0.82	-0.49
Centralidade do Keystone (%)	50	0
Densidade da Rede	0.02	0.00

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os resultados obtidos pela ferramenta permitem observar padrões estruturais entre versões, como aumento ou redução de atores e relacionamentos, variações na modularidade, alterações na densidade da rede e indicadores de estabilidade ou mudança estrutural. Essas informações fornecem dados para interpretar a evolução do ecossistema e apoiar análises sobre manutenção, reorganização estrutural ou estagnação. A abordagem automatizada contribui, assim, para tornar a avaliação mais rápida e repetível fortalecendo o processo de análise de ecossistemas de software com base em modelagem SSN.

6 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta um estudo de caso sobre a saúde e a qualidade do ECOS SOLAR, um ecossistema real voltado ao contexto educacional. O objetivo da análise é aplicar a abordagem proposta neste trabalho para avaliar, a partir de modelos SSN, o comportamento e a vitalidade desse ecossistema ao longo de suas versões.

6.1 Análise da Saúde e Qualidade do ECOS SOLAR

A análise da saúde e qualidade do ECOS SOLAR foi conduzida conforme a abordagem proposta neste trabalho. O primeiro passo consistiu em identificar a necessidade de avaliação do ecossistema, considerando sua relevância no contexto educacional e a possibilidade de existir indícios de degradação da qualidade ou estabilidade ao longo do tempo. Em seguida, os modelos SSN foram obtidos e remodelados na ferramenta *ECOS Modeling*, assegurando consistência e atualização dos dados.

Foram definidos os principais pontos de atenção da análise, incluindo conectividade, dependências entre componentes, estabilidade estrutural e sustentabilidade. Com base nesses critérios, as análises estatísticas foram executadas na ferramenta, resultando em relatórios contendo métricas quantitativas e qualitativas sobre o estado de qualidade do ecossistema, conforme representado em seus modelos ao longo do tempo. Por fim, os resultados foram consolidados e documentados, permitindo uma visão estruturada da vitalidade, robustez e sustentabilidade do ECOS SOLAR.

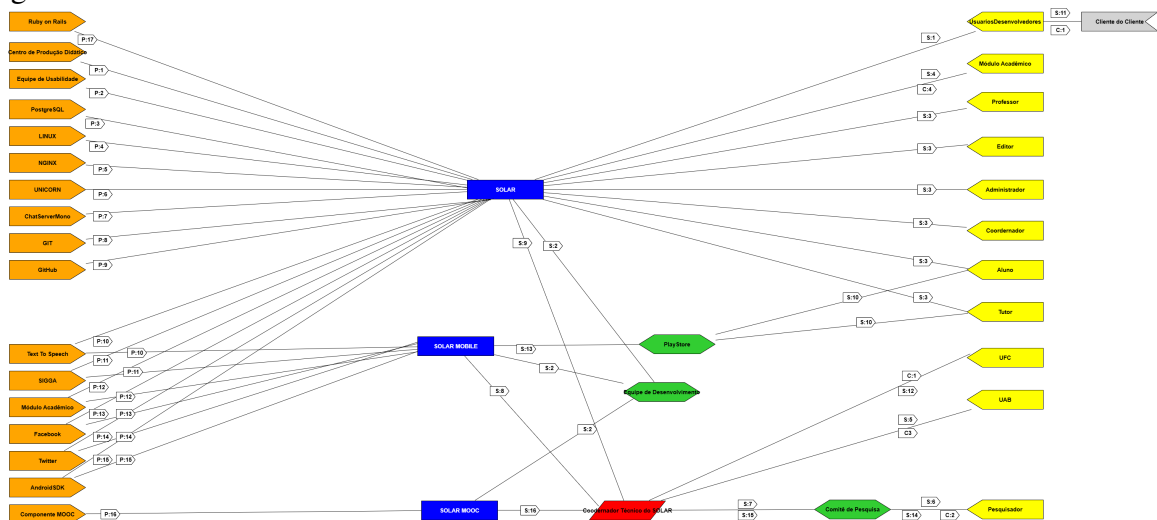
O sistema SOLAR foi selecionado por apresentar um modelo SSN consolidado, utilizado em estudos anteriores, como Coutinho *et al.* (2017), Silva *et al.* (2021) e PINHEIRO (2023), que investigam a saúde, evolução e desenvolvimento do ecossistema, bem como os impactos da modelagem SSN na análise de qualidade de software. A existência de múltiplas versões também favoreceu sua escolha, pois possibilitou aplicar as métricas propostas e observar padrões de vitalidade, estabilidade e sustentabilidade.

Para garantir a precisão dos dados, os modelos SSN das versões do SOLAR foram remodelados na ferramenta *ECOS Modeling*, seguindo a notação formal e as boas práticas documentadas. Em seguida, a análise foi executada por meio da funcionalidade de Saúde e Qualidade da ferramenta, que gerou relatórios automatizados com métricas quantitativas e qualitativas, discutidas nas subseções seguintes.

6.1.1 Visão Geral da Saúde e Qualidade do ECOS SOLAR

A análise da saúde e qualidade do ECOS SOLAR foi realizada a partir do modelo SSN apresentado originalmente por Coutinho *et al.* (2017). A escolha deste ecossistema como objeto de estudo é fundamentada na sua relevância prática, por se tratar de um ECOS real e amplamente documentado, e na consistência de seus modelos SSN, o que favorece a comparação, replicação e validação das análises. A Figura ?? apresenta o modelo SSN refeito na ferramenta ECOS Modeling para este trabalho.

Figura 26 – Modelo SSN do ECOS SOLAR Versão 1.



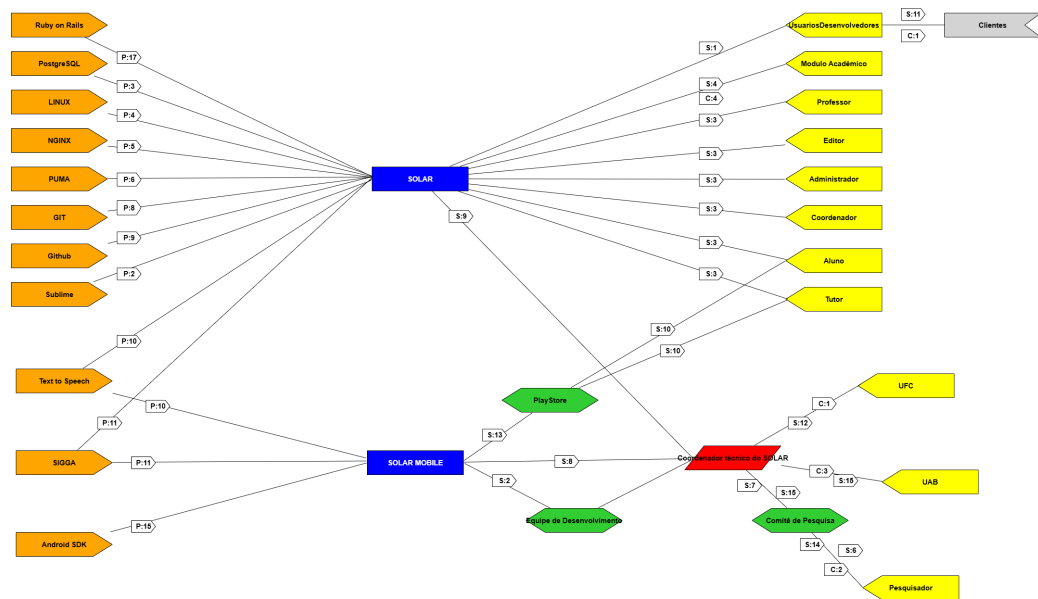
Fonte: Coutinho *et al.* (2017)

Para ampliar a precisão da análise, foram utilizadas também as versões 2 e 3 do ECOS SOLAR, apresentadas em estudos anteriores, por PINHEIRO (2023). As Figuras ?? E ?? ilustram a evolução do ecossistema ao longo do tempo.

A comparação entre as versões 1 e 2 evidencia uma redução no número de fornecedores e na quantidade de empresas de interesse. Conforme PINHEIRO (2023), essa diminuição acontece por conta da redução da equipe de manutenção e suporte, o que levou à descontinuação de serviços menos críticos ou redundantes, e da adoção de tecnologias mais modernas, que substituíram soluções anteriores sem preservar todos os papéis originais no modelo. A desativação de plataformas específicas também contribuiu para a remoção de determinados atores.

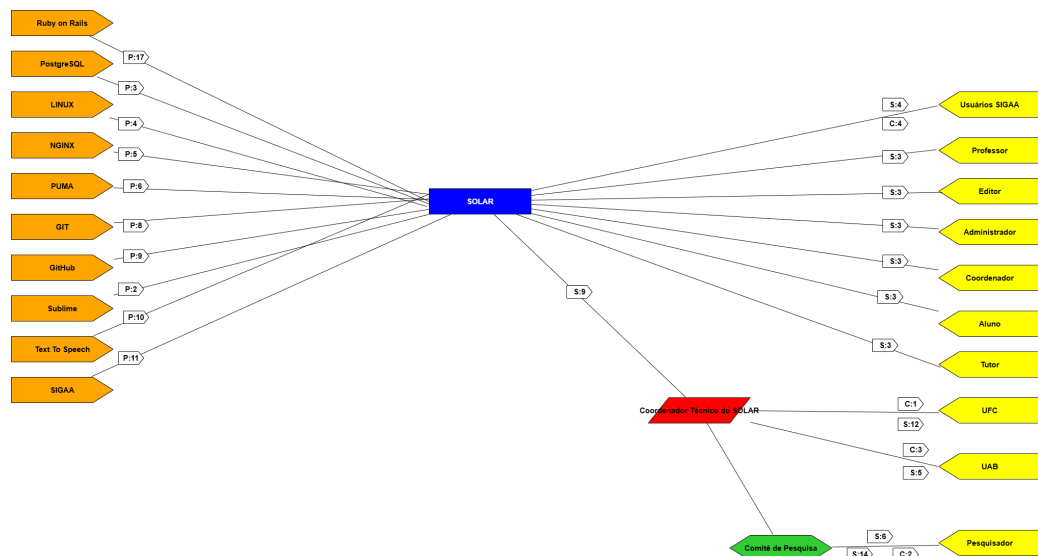
A terceira versão representa o estado atual do ecossistema, descrevendo as tecnologias ativas, os usuários envolvidos e suas interações com a plataforma central. Novamente, ocorre uma diminuição no número de empresas de interesse. Segundo PINHEIRO (2023) essa diminuição ocorreu pela consolidação do SOLAR em torno de seu núcleo web, que passou a

Figura 27 – Modelo SSN do ECOS SOLAR Versão 2.



Fonte: PINHEIRO (2023)

Figura 28 – Modelo SSN do ECOS SOLAR Versão 3.



Fonte: PINHEIRO (2023)

integrar funcionalidades responsivas, tornando obsoletos os módulos mobile e MOOC. Como consequência, intermediários como a *Play Store* e equipes de desenvolvimento dessas plataformas foram removidos do ecossistema. Essas alterações também reduziram o número de clientes específicos e, portanto, o total de relacionamentos do modelo, evidenciando um ecossistema mais enxuto e focado em sua operação central.

6.1.2 Resultados Estatísticos da Saúde e Qualidade do ECOS SOLAR

Os resultados obtidos pela abordagem de análise de saúde e qualidade implementada na ferramenta ECOS *Modeling* foram consolidados em relatórios contendo gráficos e tabelas com valores absolutos e percentuais, conforme as métricas quantitativas e qualitativas definidas neste trabalho. Esta subseção apresenta e discute os resultados referentes ao ECOS SOLAR.

O Quadro 10 reúne os dados numéricos fundamentais de cada versão do ecossistema, que servem de base para o cálculo das métricas. A simples observação desses valores revela uma tendência de diminuição do ecossistema ao longo do tempo, com redução contínua no número de componentes e relacionamentos.

Quadro 10 – Dados numéricos básicos das versões do ECOS SOLAR

Componente	SOLAR V1	SOLAR V2	SOLAR V3
Empresa de Interesse	3	2	1
Fornecedor	17	11	10
Cliente	11	11	10
Cliente do Cliente	1	1	0
Intermediário	3	3	1
Agregador	1	1	1
Total de Atores	36	29	23
Total de Relacionamentos	45	33	22
Fluxos	52	39	26
Total de Componentes	88	68	49

Fonte: Elaborado pelo autor.

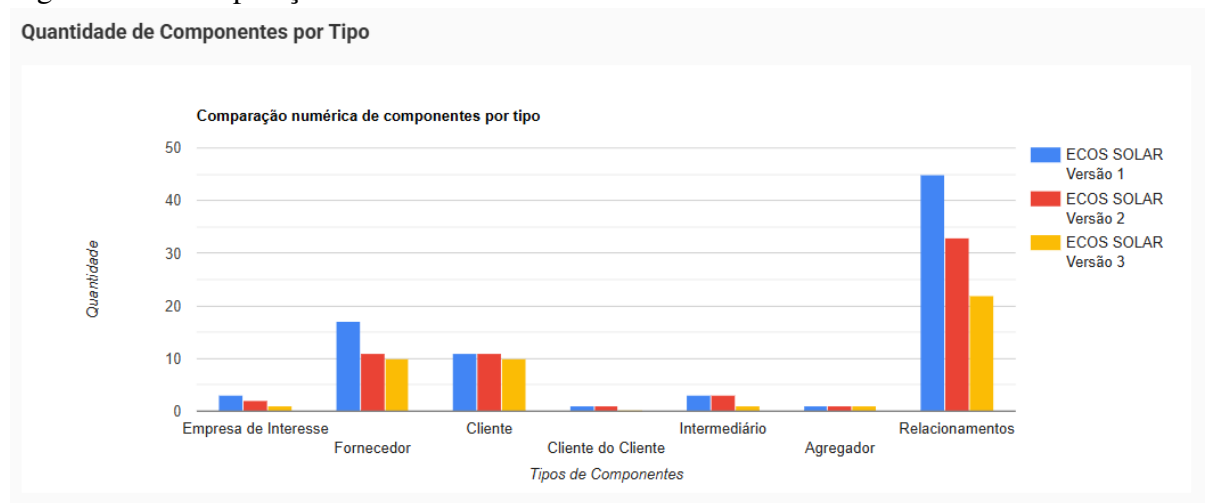
A Figura 29 apresenta a comparação dos principais componentes entre as versões. É possível notar uma redução contínua em todos os elementos estruturais do ecossistema, com queda mais acentuada entre as versões 1 e 3. A diminuição é mais significativa entre os fornecedores, reforçando o processo de consolidação do ecossistema em torno de seu núcleo funcional.

A Figura 30 apresenta dois gráficos complementares: (A) a quantidade de componentes por versão e (B) a taxa de retenção calculada pela fórmula:

$$\text{Retenção} = \frac{\text{Número de atores mantidos entre versões}}{\text{Número total de atores na versão anterior}}$$

A análise da taxa de retenção destaca que parte dos atores e relacionamentos se manteve constante ao longo do tempo, mas também que houve perdas relevantes. Essa métrica é fundamental para

Figura 29 – Comparação Numérica entre as versões do ECOS SOLAR.



Fonte: Elaborado pelo autor.

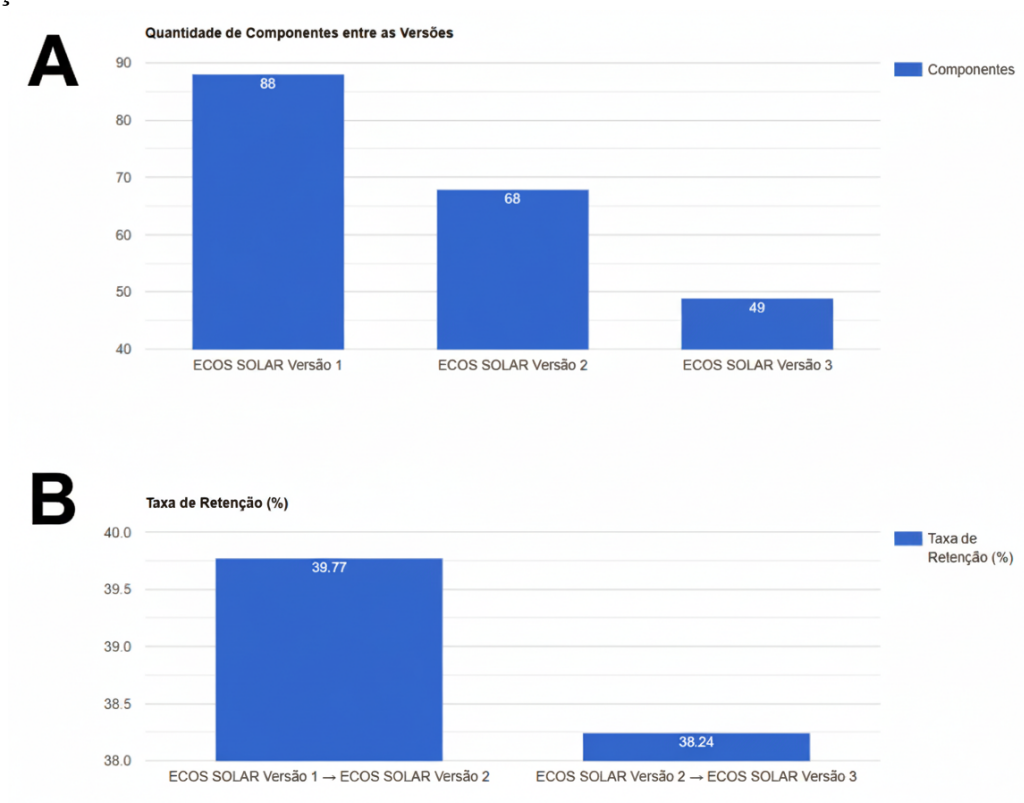
identificar a resiliência do ecossistema. Quanto maior a capacidade de reter atores e conexões, maior a estabilidade e a sustentabilidade ao longo das mudanças, também deve se levar em conta fatores como substituição e o processo de evolução que ocorre entre as versões do ECOS como o SOLAR que seguiu para um caminho de centralizar suas atividades em volta de uma plataforma central.

Embora o núcleo da plataforma tenha se mantido, as métricas destacam uma perda de fornecedores, intermediários e clientes, o que impacta a diversidade e a robustez da rede. Esse panorama reforça a utilidade da análise de saúde e qualidade como instrumento para identificar possíveis pontos de atenção e orientar decisões estratégicas relacionadas à evolução do ecossistema.

A Figura 31 apresenta uma tabela comparativa das métricas de saúde e qualidade calculadas para as três versões do ECOS SOLAR. Os valores ausentes para a Versão 1 se devem à natureza dessas métricas, que dependem da comparação e da variação entre versões subsequentes do ecossistema para serem calculadas. A análise dos dados revela tendências significativas para a saúde do ecossistema além da já observada contração no número absoluto de atores e relacionamentos:

- **Retenção e estabilidade:** A taxa de retenção diminuiu levemente de 39,8% (V2) para 38,2% (V3), indicando uma redução gradual, mas a preservação de uma parcela relevante da estrutura central. A estabilidade de dependências de 100% evidencia a manutenção de relacionamentos essenciais.
- **Renovação tecnológica:** A Taxa de Lançamento permanece elevada em ambas as transições (48,5% e 46,9%), sugerindo um processo contínuo de substituição e

Figura 30 – Gráficos de Quantidade de Componentes Entre as Versões e Gráfico de Taxa de Retenção do ECOS SOLAR.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 – Tabela de Comparação Geral das Métricas Para o ECOS SOLAR.

Comparação Geral de Métricas			
Métrica	ECOS SOLAR Versão 1	ECOS SOLAR Versão 2	ECOS SOLAR Versão 3
Atores Retidos	-	35	26
Taxa de Retenção (%)	-	39.77%	38.24%
Taxa de Lançamento (%)	-	48.53%	46.94%
Variedade de aplicações	5	5	4
Atividade da Comunidade	-	29.0%	39.0%
Modularidade	0.91	0.87	0.79
Reusabilidade	-	29.0%	29.0%
Crescimento de Atores	-	38.0%	34.0%
Estabilidade de Dependências	-	100.0%	100.0%
Variação Relacionamentos (%)	-	-26.7%	-33.3%

Fonte: Elaborado pelo autor.

atualização de componentes, mais relacionado à renovação do que à expansão. A Variedade de Aplicações diminui de cinco para quatro categorias, indicando uma simplificação funcional.

- **Atividade da comunidade:** A métrica apresenta crescimento de 29,0% (V2) para 39,0% (V3), indicando dinamismo e atualizações internas, mesmo em um ecossistema em redução.
- **Qualidade arquitetural:** A modularidade apresenta queda contínua (0,91 → 0,87 → 0,79), indicando aumento do acoplamento entre os componentes remanescentes, o que pode reduzir a flexibilidade e dificultar modificações futuras.
- **Crescimento de atores:** Embora positiva, a taxa apresenta redução (38% → 34%), sugerindo menor entrada de participantes na versão mais recente.

Os dados demonstram um quadro de um ecossistema em transição e consolidação. O SOLAR passou por uma significativa racionalização, se tornando menor e potencialmente mais focado. Manteve uma notável atividade e capacidade de renovação (altas taxas de lançamento e atividade), mas demonstra sinais de alerta, como o aumento do acoplamento arquitetural (redução da modularidade) e a simplificação de suas aplicações.

A Figura 32 apresenta as métricas quantitativas comparadas entre as três versões, complementando as análises anteriores.

Figura 32 – Tabela de Métricas Quantitativas Para o ECOS SOLAR.

Métricas Quantitativas			
Métrica	ECOS SOLAR Versão 1	ECOS SOLAR Versão 2	ECOS SOLAR Versão 3
Total de Componentes	88	68	49
Total de Relacionamentos	45	33	22
Modularidade	0.91	0.87	0.79
Centralidade do Keystone (%)	29.89	28.36	37.50
Densidade da Rede	0.01	0.01	0.02

Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Contração estrutural:** O total de componentes caiu de 88 para 49, e os relacionamentos de 45 para 22, caracterizando uma redução significativa e crescente simplificação da rede.
- **Queda na modularidade:** A redução de 0,91 para 0,79 indica maior acoplamento e menor independência estrutural.
- **Aumento da centralização:** A centralidade do *keystone* atinge 37,5% na versão 3, indicando uma maior concentração de funções no ator central.
- **Maior coesão interna:** A densidade da rede cresce de 0,01 para 0,02, sugerindo que os componentes remanescentes apresentam mais relações entre si.

7 AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM

Este capítulo apresenta a avaliação da abordagem proposta, conduzida com estudantes de cursos de computação, com o objetivo de analisar suas características, funcionamento e resultados fornecidos pela abordagem implementada na ferramenta, bem como discutir as percepções obtidas a partir das análises realizadas pelos participantes. A avaliação foi conduzida com base nos princípios do TAM, considerando aspectos relacionados à utilidade percebida e à facilidade de uso da abordagem e da ferramenta.

7.1 Execução da Avaliação

A avaliação da abordagem de saúde e qualidade de ECOS foi realizada com uma média de 15 alunos do curso de Engenharia de *Software* (ES) e com estudantes que já haviam cursado a disciplina de Engenharia de *Software* em cursos de graduação da Universidade Federal do Ceará (Universidade Federal do Ceará (UFC)), Campus Quixadá. O objetivo foi verificar a aplicabilidade da abordagem, sua clareza conceitual e a compreensão dos participantes sobre saúde e qualidade em ecossistemas de *software*.

Para contextualizar os estudantes, foi enviado previamente um roteiro contendo o link de acesso à ferramenta ECOS *Modeling*, acompanhado de uma breve explicação sobre sua finalidade, funcionamento geral e sobre os conceitos relacionados a ECOS e à notação SSN. Além disso, foram fornecidas instruções iniciais sobre como navegar na ferramenta, acessar o repositório, manipular modelos e gerar relatórios de saúde e qualidade, garantindo que os participantes tivessem o suporte necessário para executar as atividades de maneira autônoma. O roteiro completo utilizado na avaliação está disponível no Apêndice A. Essas explicações foram disponibilizadas antes da execução da avaliação e não houve encontro presencial para sua apresentação.

Após a leitura do roteiro e a exploração da ferramenta, os participantes responderam a um questionário online. O questionário foi composto por questões fechadas, de múltipla escolha e abertas, abrangendo dados demográficos, conhecimento prévio sobre ECOS e SSN, experiência de uso da ferramenta, percepção sobre esforço mental, utilidade e clareza das informações apresentadas, além da adequação da abordagem aos objetivos propostos, em alinhamento com os construtos do modelo TAM. Questões abertas foram incluídas para identificar pontos fortes, fracos e sugestões de melhoria. O questionário aplicado encontra-se integralmente descrito no

Apêndice B.

O questionário foi organizado em seis seções: (i) termo de consentimento, (ii) dados demográficos, (iii) conhecimento prévio sobre ECOS, SSN e modelagem, (iv) avaliação da ferramenta *ECOS Modeling*, (v) avaliação da abordagem de saúde e qualidade de ECOS e (vi) questões abertas. Essa organização permitiu traçar o perfil dos participantes, analisar sua experiência de uso e obter percepções quantitativas e qualitativas sobre o funcionamento da abordagem e da ferramenta.

7.2 Resultados Obtidos

Os dados obtidos por meio do questionário utilizado para a avaliação da abordagem proposta foram analisados de forma quantitativa e qualitativa. Na análise quantitativa, foram utilizadas técnicas de estatística descritiva para caracterizar o perfil dos participantes, identificar o nível de conhecimento prévio sobre ECOS e SSN, e avaliar a satisfação geral e o esforço mental envolvido na execução das atividades. A análise qualitativa consistiu na interpretação das respostas abertas, buscando reconhecer padrões, categorias e relações que evidenciassem percepções relevantes sobre a abordagem e sobre o uso da ferramenta.

O formulário foi disponibilizado online e permaneceu aberto para respostas durante um período de duas semanas, entre os meses de outubro e novembro. Nesse intervalo, os participantes puderam acessar o roteiro introdutório, explorar a ferramenta *ECOS Modeling* e, depois, registrar o que perceberam no questionário. Ao final do período, foram obtidas 15 respostas válidas, das quais 13 pertenciam a alunos de graduação vinculados a turmas de Engenharia de *Software*, e duas respostas vieram de alunos da disciplina de Engenharia de *Software* sendo uma de Sistemas de Informação (Sistemas de Informação (SI)) e outro de Ciência da Computação (Ciência da Computação (CC)).

7.2.1 Questões Demográficas

As questões demográficas tiveram como objetivo caracterizar o perfil dos participantes e possibilitar a relação dessas informações com as demais respostas do questionário. A partir dessa seção, foi possível identificar aspectos como sexo, gênero, idade, grau de instrução e ocupação, além de compreender o nível de familiaridade dos participantes com ECOS, SSN e modelagem de sistemas.

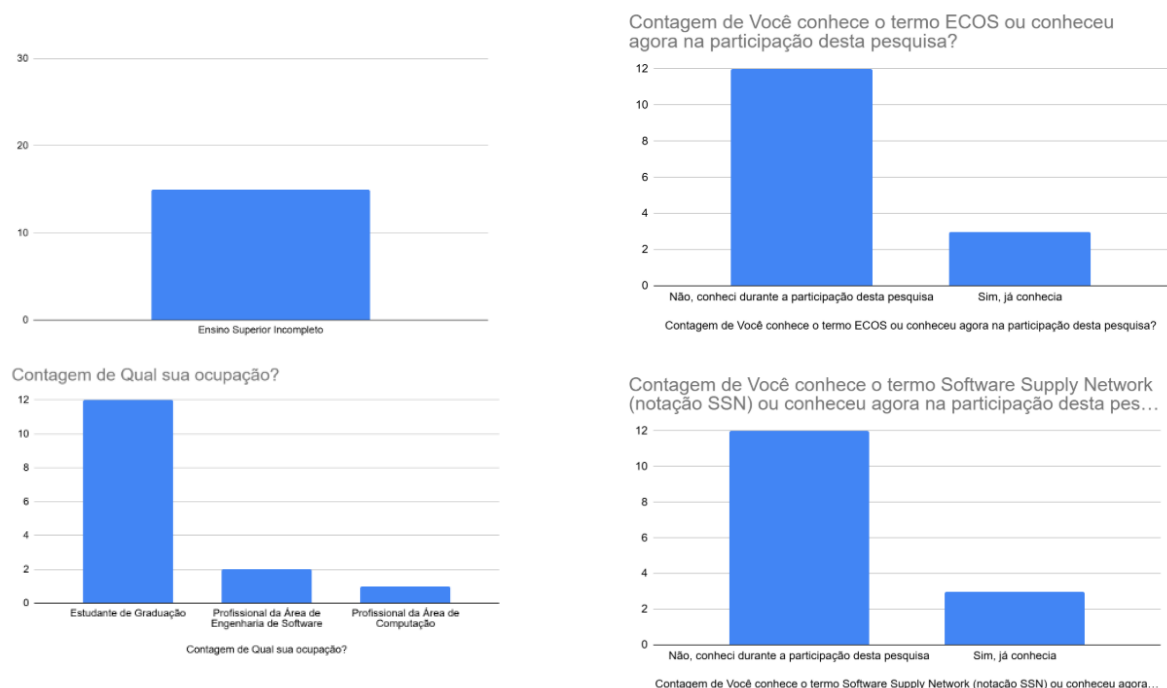
Entre os 15 respondentes, a maioria era composta por estudantes de graduação vinculados às turmas de Engenharia de *Software* o público alvo desta avaliação. As respostas indicaram que a maioria possui um perfil jovem, com formação em andamento e atuação concentrada na área acadêmica, especialmente em cursos de computação.

Quanto ao grau de instrução, foi observado que os participantes estavam, em sua maioria, distribuídos entre Ensino Superior Incompleto. Esse resultado está alinhado ao propósito da avaliação, direcionada a alunos que já tiveram contato prévio com conceitos de Engenharia de *Software*.

Em relação à ocupação, a maior parte dos respondentes se identificou como estudantes, com poucos registros de profissionais. Essa predominância reforça o foco do estudo na análise da abordagem sob a perspectiva de usuários em formação, porém com conhecimento suficiente para compreender temas relacionados à modelagem e análise de ecossistemas.

A Figura 33 apresenta, lado a lado, os gráficos referentes ao grau de instrução e à ocupação dos participantes, bem como aos níveis de conhecimento prévio sobre ecossistemas de *software* e sobre a notação SSN. Esses dados permitem caracterizar o contexto formativo dos avaliadores e servem como base para a interpretação dos resultados apresentados nas seções seguintes.

Figura 33 – Gráficos Demográficos e de Conhecimento Prévio dos Participantes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Essas informações permitem traçar o perfil geral dos respondentes, destacando que a avaliação foi conduzida com um grupo representativo de estudantes da área de computação, com conhecimentos relevantes para analisar a ferramenta e a abordagem proposta. Essas informações servem como base para a interpretação dos resultados técnicos e qualitativos apresentados nas próximas seções.

7.2.2 *Questões Técnicas*

As questões técnicas tiveram como objetivo avaliar a experiência dos participantes na utilização da ferramenta *ECOS Modeling* e compreender sua percepção quanto à usabilidade, clareza, navegação, atendimento aos requisitos e ao esforço mental necessário para realizar as atividades propostas.

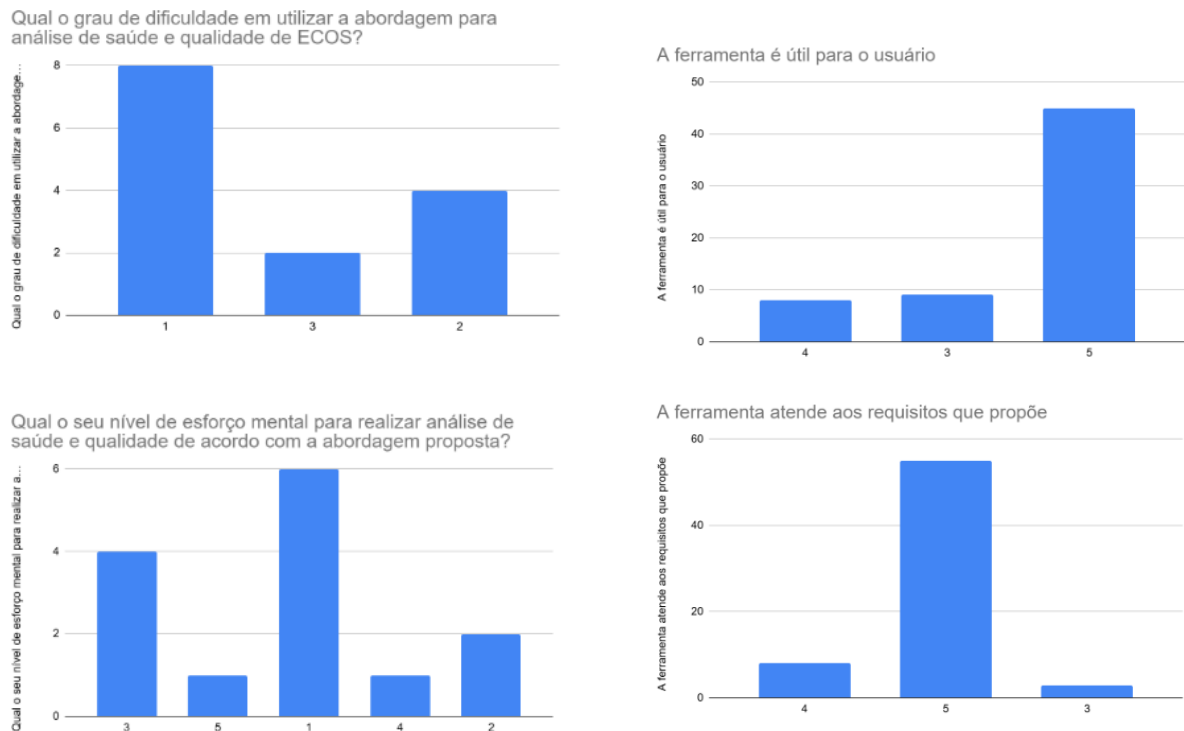
As respostas permitiram identificar como os usuários interagiram com a ferramenta e qual foi o nível de facilidade ou dificuldade ao executar tarefas relacionadas à modelagem, ao uso do repositório e à geração dos relatórios de saúde e qualidade de ECOS. De modo geral, os participantes demonstraram boa compreensão do funcionamento básico da ferramenta e relataram níveis satisfatórios de navegabilidade e clareza na localização das funcionalidades essenciais.

A percepção sobre a interface também foi positiva, indicando que o visual da ferramenta contribui para a execução das atividades. A maioria dos respondentes considerou que as funcionalidades oferecidas são adequadas e úteis para apoiar a análise de ecossistemas de *software*.

Quanto ao esforço mental, as respostas indicaram que a maior parte dos participantes o classificou como baixo a moderado, sugerindo que a ferramenta não apresenta barreiras significativas de uso ou aprendizado. Esse resultado reforça que a abordagem implementada é acessível mesmo para usuários com diferentes níveis de experiência em modelagem e análise de ECOS.

A Figura 34 reúne os gráficos referentes ao grau de dificuldade e ao esforço mental exigidos, bem como à percepção de utilidade da ferramenta e ao atendimento dos requisitos propostos. Os resultados mostram que a abordagem foi considerada pouco exigente cognitivamente e bem avaliada quanto à utilidade e ao cumprimento de seus objetivos.

Figura 34 – Gráficos de Grau de Dificuldade, Esforço Mental, Utilidade e Atendimento aos Requisitos.

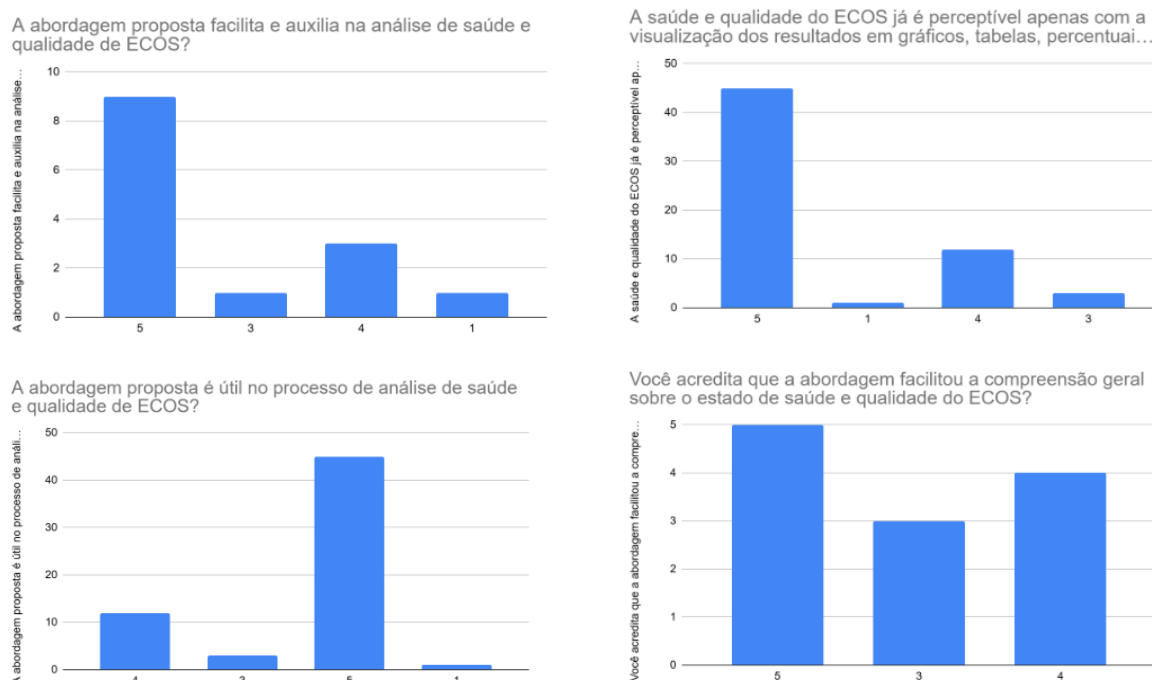


Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro aspecto analisado foi o grau de atendimento dos requisitos. Os participantes avaliaram se a ferramenta cumpre o que se propõe a oferecer, especialmente no acesso aos modelos, no uso do repositório, na navegação e na automação da análise de saúde e qualidade. As respostas indicaram que a ferramenta atende satisfatoriamente aos requisitos estabelecidos, reforçando sua aplicabilidade no contexto da pesquisa.

A Figura 35 apresenta os gráficos referentes aos níveis de utilidade e facilidade de uso atribuídos à abordagem de análise, bem como à percepção e à compreensão dos resultados apresentados pelos relatórios. Nas escalas utilizadas, o valor 5 representa “Muito Útil”, “Facilita Muito” ou “Muito Perceptível”, enquanto 1 indica o nível mínimo dessas avaliações.

Figura 35 – Gráficos de Utilidade, Facilidade, Percepção e Compreensão dos Resultados da Análise.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De forma geral, as questões técnicas forneceram uma visão clara da interação dos usuários com a ferramenta *ECOS Modeling*, evidenciando pontos positivos relacionados à usabilidade, clareza e utilidade, além de indicar um nível adequado de esforço mental para sua utilização. Esses resultados contribuem para compreender a eficácia prática da abordagem e fundamentam as análises apresentadas nas seções seguintes.

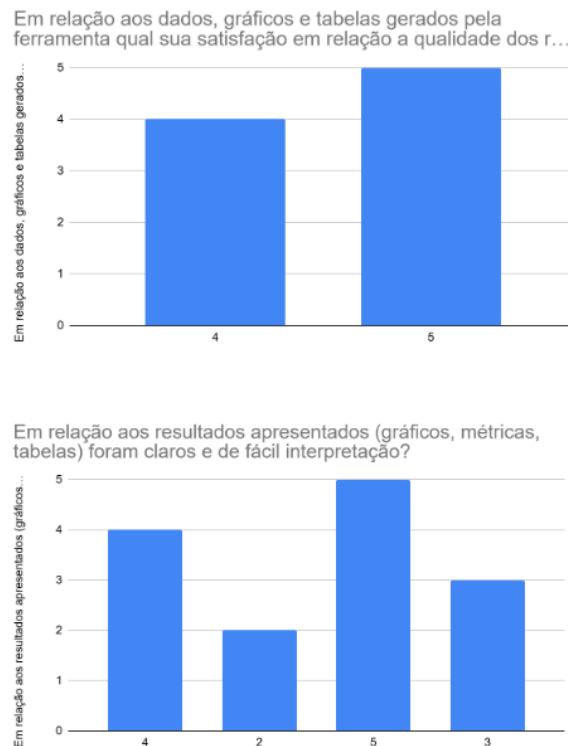
A Figura 36 ilustra os gráficos referentes à satisfação dos participantes quanto à forma de apresentação dos resultados, gráficos e tabelas, e ao nível de facilidade na interpretação dos dados gerados pela análise.

7.2.3 Questões Abertas

A última seção do questionário foi composta por questões abertas, cujo objetivo foi captar a opinião dos participantes de forma livre, permitindo identificar percepções que não poderiam ser representadas apenas por respostas fechadas. As perguntas abordaram pontos fortes, pontos fracos e sugestões de melhoria relacionadas à ferramenta *ECOS Modeling* e à abordagem de análise de saúde e qualidade de ECOS.

As respostas fornecidas apresentaram uma visão detalhada sobre a percepção dos

Figura 36 – Gráficos de Satisfação e Facilidade de Interpretação dos Dados da Análise.



Fonte: Elaborado pelo autor.

participantes, permitindo identificar aspectos positivos, limitações e oportunidades de evolução. Esses dados complementam a avaliação quantitativa e oferecem subsídios importantes para o aprimoramento da solução proposta.

7.2.3.1 Pontos Fortes

Entre os pontos fortes mais frequentemente mencionados, destacaram-se a facilidade de uso da ferramenta, a clareza das informações apresentadas e a utilidade dos gráficos e métricas gerados. Muitos participantes ressaltaram que a organização visual e a automação do processo de análise contribuem significativamente para a compreensão da saúde e da qualidade dos ecossistemas modelados.

Essa percepção pode ser observada em comentários como: “*Interface simples e gráficos detalhados*” e “*Design intuitivo, claro e objetivo, informações bem estruturadas e organizadas*”. Outros participantes enfatizaram a eficiência da abordagem, mencionando a rapidez e a praticidade na comparação entre versões dos modelos, como exemplificado na resposta: “*Comparação rápida e prática de forma visual em gráficos e tabelas*”.

De modo geral, os relatos indicam que a ferramenta oferece uma experiência aces-

sível mesmo para usuários em formação, contribuindo para o entendimento dos conceitos de ECOS e para a análise de sua evolução de forma visual e estruturada.

7.2.3.2 *Pontos Fracos*

Apesar da avaliação predominantemente positiva, alguns participantes apontaram limitações relacionadas principalmente à clareza conceitual de determinadas métricas e à apresentação de alguns elementos da interface. Essas dificuldades foram mais evidentes entre usuários com pouco ou nenhum contato prévio com ECOS ou com a notação SSN.

Esse aspecto é percebido por comentários como: *“Difícil saber qual o propósito de cada métrica se nunca trabalhei com SSN”* e *“Algumas categorias e gráficos têm nomenclatura ou apresentação um pouco confusa”*. Também foram mencionadas questões relacionadas à ordem de seleção dos modelos durante a geração dos relatórios, o que pode impactar a interpretação comparativa dos resultados.

Ainda assim, parte dos participantes relatou não ter identificado pontos fracos relevantes, indicando que as limitações observadas estão mais associadas à experiência inicial de uso e à necessidade de maior contextualização das métricas do que a problemas funcionais da ferramenta.

7.2.3.3 *Sugestões de Melhoria*

As sugestões de melhoria apresentadas se concentram, principalmente, em aprimoramentos de usabilidade e suporte à compreensão das métricas. Entre as recomendações mais recorrentes estão a inclusão de descrições mais detalhadas, *tooltips* explicativos e guias que auxiliem usuários iniciantes durante a análise.

Alguns participantes sugeriram, por exemplo, *“Adicionar algum tooltip nas métricas com um texto explicativo”* e *“Melhoria na UX, com utilização de nomes mais descritivos para a função de gerar relatório”*. Também foram propostas melhorias visuais, como ajustes de cores, fontes e disposição dos elementos da interface, além da inclusão de funcionalidades adicionais, como botões de retorno, destaque para ações principais e opções de personalização visual.

Essas sugestões reforçam o potencial de evolução da ferramenta e indicam caminhos concretos para seu aprimoramento, especialmente no que se refere à experiência do usuário e à redução da curva de aprendizado.

7.3 Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos por meio do questionário permitiram avaliar de forma consistente a abordagem de análise de saúde e qualidade de ECOS e sua implementação na ferramenta *ECOS Modeling*. As respostas indicaram que os participantes conseguiram utilizar a ferramenta, compreender suas funcionalidades e interpretar os resultados gerados, conferindo maior confiabilidade à abordagem proposta.

Foi possível observar que grande parte dos respondentes não possuía conhecimento prévio sobre ECOS ou SSN, reforçando a baixa difusão desses conteúdos na formação tradicional em Engenharia de *Software*. Ainda assim, o material introdutório fornecido antes da avaliação se mostrou suficiente para contextualizar os participantes, permitindo a execução adequada das atividades.

As questões técnicas evidenciaram avaliações positivas quanto à navegação, clareza das funcionalidades e utilidade geral da ferramenta. A percepção de esforço mental foi predominantemente baixa ou moderada, indicando que as atividades puderam ser realizadas sem dificuldades significativas. Os resultados também apontaram que a abordagem auxiliou na compreensão do estado de saúde e da qualidade dos ecossistemas analisados.

Os dados também mostraram que os resultados apresentados pela ferramenta foram considerados claros e satisfatórios pela maioria dos respondentes. Esse resultado é importante, pois indica que a abordagem, além de automatizar o processo de análise, apresenta as informações de maneira acessível, favorecendo a interpretação dos indicadores de forma visual e organizada.

As questões abertas reforçaram o que foi encontrado. Os pontos fortes mais mencionados foram a clareza dos resultados, a utilidade da abordagem e a organização das informações. Entre os pontos fracos, foram mencionadas dificuldades pontuais relacionadas à interface e à compreensão inicial de algumas métricas, sugerindo melhorias que podem refinar a experiência do usuário. Também foram sugeridas a ampliação da documentação e pequenas revisões de usabilidade para tornar a interação mais intuitiva.

De modo geral, os resultados demonstram que a solução proposta cumpre seu objetivo principal, fornecendo apoio efetivo à análise da saúde e da qualidade de ecossistemas de *software*. Apesar das melhorias recomendadas, a abordagem demonstrou ser compreensível, funcional e aplicável em contexto acadêmico, contribuindo para suprir a ausência de ferramentas e métodos voltados especificamente à análise de ECOS. Esses dados reforçam a relevância da proposta e seu potencial para evolução futura.

8 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou uma abordagem para a análise da saúde e da qualidade de Ecossistemas de Software, implementada na ferramenta *ECOS Modeling*. A iniciativa busca suprir a ausência de métodos e instrumentos específicos voltados à avaliação sistemática de ECOS, identificada na literatura da área.

8.1 Considerações finais

A pesquisa enfrentou uma lacuna significativa nos estudos sobre Ecossistemas de Software: a falta de mecanismos estruturados que apoiem a análise de saúde e qualidade desses ambientes. A abordagem proposta contribui para esse cenário ao disponibilizar um processo automatizado de avaliação baseado em modelos SSN, oferecendo métricas, gráficos e relatórios que auxiliam na interpretação do estado do ecossistema ao longo do tempo.

A avaliação da abordagem foi conduzida com estudantes de cursos de computação da Universidade Federal do Ceará, Campus Quixadá. O objetivo foi observar como usuários em formação interagem com a ferramenta e interpretam os resultados obtidos. Os participantes conseguiram utilizar a ferramenta, compreender suas funcionalidades e interpretar os indicadores apresentados, o que demonstra que a proposta se mostra funcional e acessível mesmo para usuários com contato limitado com ECOS ou SSN.

Os resultados destacaram que a abordagem cumpre seu propósito de apoiar a análise de saúde e qualidade de ecossistemas modelados, além de contribuir para a divulgação desses conceitos em ambientes acadêmicos. A pesquisa também amplia o escopo de estudos sobre ECOS ao propor um processo sistematizado de avaliação, integrando modelagem SSN e análise automatizada.

Alguns desafios surgiram durante a execução do estudo, como a necessidade de fornecer materiais introdutórios mais detalhados para públicos diversos e o fato de que toda a avaliação foi realizada de forma remota. Ainda assim, os dados coletados foram suficientes para validar a abordagem e indicar caminhos de aperfeiçoamento.

É importante considerar algumas ameaças à validade: (i) o número limitado de participantes; (ii) a realização da avaliação em uma única instituição; (iii) a natureza qualitativa das respostas abertas; (iv) a possibilidade de influência do material de apoio na percepção dos usuários; e (v) as limitações atuais da ferramenta que necessitam de um refinamento contínuo.

8.2 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, é recomendado a implementação de melhorias de usabilidade e experiência do usuário na ferramenta *ECOS Modeling*. Isso inclui ajustes na interface, reorganização visual e maior clareza na navegação, com o objetivo de tornar o ambiente mais intuitivo e reduzir o esforço cognitivo durante o uso.

Outra linha para trabalho futuro está no aprimoramento da apresentação dos resultados gerados pela ferramenta. A inclusão de descrições mais detalhadas sobre as métricas calculadas pode facilitar a interpretação dos indicadores de saúde e qualidade. Também se recomenda explorar tecnologias mais avançadas para renderização de gráficos e tabelas, permitindo visualizações mais nítidas, responsivas e adequadas às análises realizadas.

Por fim, a expansão do conjunto de métricas representa uma oportunidade relevante. Algumas métricas não foram incluídas nesta versão devido à complexidade técnica envolvida. Entre elas:

- **Nível de substituição de fornecedores:** avalia a capacidade de adaptação do ecossistema por meio da substituição de fornecedores entre versões.
- **Expansão de papéis:** identifica atores que passam a desempenhar múltiplas funções ao longo do tempo, revelando processos de especialização.
- **Convergência de ecossistemas:** mede relações entre atores de ecossistemas distintos, permitindo observar integrações, fusões ou colaborações.

A inclusão dessas métricas aumentaria o alcance da análise da abordagem, permitindo avaliar não apenas o estado atual dos ecossistemas, mas também sua evolução estrutural ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

- AEDAH, A. R. Quality consideration for e-learning system based on iso/iec 25000 quality standard. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON EXPERIENCE WITH SQUARE, 2019. **Proceedings [...]**. [S. l.], 2020.
- AMORIM, S. da S.; MCGREGOR, J. D.; ALMEIDA, E. S. de; CHAVEZ, C. von F. G. Understanding the effects of practices on kde ecosystem health. In: TOWARDS ROBUST PRACTICES: 13TH IFIP WG 2.13 INTERNATIONAL CONFERENCE, 2013. **Proceedings [...]**. Buenos Aires, Argentina: Springer, 2017. p. 89–100.
- AXELSSON, J.; SKOGLUND, M. Quality assurance in software ecosystems: A systematic literature mapping and research agenda. **Journal of Systems and Software**, Elsevier, v. 114, p. 69–81, 2016.
- BELO, Í.; ALVES, C. Strategic patterns to foster the evolution of emerging software ecosystems. **Journal of Software: Evolution and Process**, Wiley Online Library, p. e2747, 2024.
- BOSCH, J. From software product lines to software ecosystems. In: INTERNATIONAL SOFTWARE PRODUCT LINE CONFERENCE (SPLC), 13. **Proceedings [...]**. [S. l.], 2009. v. 9, p. 111–119.
- BOUCHARAS, V.; JANSEN, S.; BRINKKEMPER, S. Formalizing software ecosystem modeling. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON OPEN COMPONENT ECOSYSTEMS, 1. **Proceedings [...]**. [S. l.], 2009. p. 41–50.
- CAMPBELL, P. R.; AHMED, F. A three-dimensional view of software ecosystems. In: EUROPEAN CONFERENCE ON SOFTWARE ARCHITECTURE: COMPANION VOLUME, 4. **Proceedings [...]**. [S. l.], 2010. p. 81–84.
- CARVALHO, I.; CAMPOS, F.; BRAGA, R.; DAVID, J. M. N.; STROELLE, V.; ARAÚJO, M. A. Heal me-an architecture for health software ecosystem evaluation. In: 5TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON SOFTWARE ENGINEERING FOR SYSTEMS-OF-SYSTEMS AND 11TH WORKSHOP ON DISTRIBUTED SOFTWARE DEVELOPMENT, SOFTWARE ECOSYSTEMS AND SYSTEMS-OF-SYSTEMS (JSOS), 2017. **Proceedings [...]**. [S. l.]: IEEE/ACM, 2017. p. 59–65.
- CARVALHO, I.; CAMPOS, F.; BRAGA, R.; DAVID, J. M. N.; STRÖELE, V.; ARAÚJO, M. A. Health evaluation in software ecosystems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS(ICEIS), 20. **Proceedings [...]**. [S. l.], 2018. p. 263–271.
- COSTA, G.; SILVA, F.; SANTOS, R.; WERNER, C.; OLIVEIRA, T. From applications to a software ecosystem platform: an exploratory study. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF EMERGENT DIGITAL ECOSYSTEMS, 5. **Proceedings [...]**. [S. l.], 2013. p. 9–16.
- COUTINHO, E. F.; SANTOS, I.; MOREIRA, L. O.; BEZERRA, C. I. A report on the teaching of software ecosystems in software engineering discipline. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON SOFTWARE ENGINEERING, 33. **Proceedings [...]**. [S. l.], 2019. p. 130–139.

COUTINHO, E. F.; VIANA, D.; SANTOS, R. P. D. An exploratory study on the need for modeling software ecosystems: The case of solar seco. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON MODELLING IN SOFTWARE ENGINEERING (MISE), 9., 2017. **Proceedings [...]**. [S. l.]: IEEE, 2017. p. 47–53.

EVERTSE, R.; LENCZ, A.; ŠINIK, T.; JANSEN, S.; SOUSSI, L. Is your software ecosystem in danger? preventing ecosystem death through lessons in ecosystem health. In: AGILE PROCESSES IN SOFTWARE ENGINEERING AND EXTREME PROGRAMMING–WORKSHOPS: XP 2021 WORKSHOPS, VIRTUAL EVENT, 2021. **Proceedings [...]**. [S. l.]: Springer. p. 96–105.

HANSEN, G. K. A longitudinal case study of an emerging software ecosystem: Implications for practice and theory. **Journal of Systems and Software**, Elsevier, v. 85, n. 7, p. 1455–1466, 2012.

HMOOD, A.; SCHUGERL, P.; RILLING, J.; CHARLAND, P. Onteqam: A methodology for assessing evolvability as a quality factor in software ecosystems. **IEEE Industrial Software Evolution and Maintenance Processes WISEMP10**, Citeseer, 2010.

JANSEN, S. A focus area maturity model for software ecosystem governance. **Information and Software Technology**, Elsevier, v. 118, p. 106219, 2020.

JANSEN, S.; BRINKKEMPER, S.; FINKELSTEIN, A. Providing transparency in the business of software: a modeling technique for software supply networks. In: WORKING CONFERENCE ON VIRTUAL ENTERPRISES. **Proceedings [...]**. [S. l.]: springer, 2007. p. 677–686.

JANSEN, S.; BRINKKEMPER, S.; FINKELSTEIN, A. Business network management as a survival strategy. In: **Software Ecosystems**. [S. l.]: Edward Elgar Publishing, 2013. p. 29–42.

JANSEN, S.; HANDOYO, E.; ALVES, C. Scientists’ needs in modelling software ecosystems. In: EUROPEAN CONFERENCE ON SOFTWARE ARCHITECTURE WORKSHOPS, 2015. **Proceedings [...]**. [S. l.], 2015. p. 1–6.

JOHNSON, D.; TIZARD, J.; DAMIAN, D.; BLINCOE, K.; CLEAR, T. Open crowdre challenges in software ecosystems. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CROWD-BASED REQUIREMENTS ENGINEERING (CROWDRE), 4., 2020. **Proceedings [...]**. [S. l.]: IEEE, 2020. p. 1–4.

KAWAI, H.; YAMADA, A. Application of iso/iec25000 (square) series to si projects. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON EXPERIENCE WITH SQUARE SERIES AND ITS FUTURE DIRECTION, 5., 2023. **Proceedings [...]**. [S. l.], 2023. p. 3–12.

LIMA, R. d. S. **Ecos modeling 3.0**: uma ferramenta de modelagem de ecossistemas de software e repositório para modelos. 2022. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação) – Universidade Federal do Ceará, Quixadá, 2022.

LIMA, T.; BARBOSA, G.; SANTOS, R. P. dos; WERNER, C. Uma abordagem socio-técnica para apoiar ecossistemas de software. **iSys-Brazilian Journal of Information Systems**, v. 7, n. 3, p. 19–37, 2014.

MANIKAS, K.; HANSEN, K. M. Software ecosystems—a systematic literature review. **Journal of Systems and Software**, Elsevier, v. 86, n. 5, p. 1294–1306, 2013.

MENS, T.; ADAMS, B.; MARSAN, J. Towards an interdisciplinary, socio-technical analysis of software ecosystem health. **arXiv preprint arXiv:1711.04532**, 2017.

PINHEIRO, F. V.; COUTINHO, E. Uma abordagem baseada em rede de fornecimento de software para análise da evolução de ecossistemas de software. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, 20. **Anais Estendidos [...]**. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2024. p. 138–153. Disponível em: https://sol.sbc.org.br/index.php/sbsi_estendido/article/view/28603. Acesso em: 20 out. 2024.

PINHEIRO, F. V.; COUTINHO, E.; SILVA, M. E.; BEZERRA, C. A systematic mapping of health, quality, evolution, simulation and modeling in software ecosystems. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON INFORMATION SYSTEMS, 20. **Anais Estendidos [...]**. [S. l.], 2024. p. 1–10.

PINHEIRO, F. V. d. S. **Uma ferramenta web para apoiar a modelagem de ecossistemas de software utilizando a notação SSN**. 2020. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação) – Universidade Federal do Ceará, Quixadá, 2020.

PINHEIRO, F. V. d. S. **Uma abordagem baseada em rede de fornecimento de software para análise da evolução de ecossistemas de software**. 2023. 220 f. Dissertação (Mestrado em Computação) – Universidade Federal do Ceará, Quixadá, 2023.

PLAKIDAS, K.; STEVANETIC, S.; SCHALL, D.; IONESCU, T. B.; ZDUN, U. How do software ecosystems evolve? a quantitative assessment of the r ecosystem. In: INTERNATIONAL SYSTEMS AND SOFTWARE PRODUCT LINE CONFERENCE, 20. **Proceedings [...]**. [S. l.]: [s. n.], 2016. p. 89–98.

SANTOS, R.; VALENÇA, G.; VIANA, D.; ESTÁCIO, B.; FONTÃO, A.; MARCZAK, S.; WERNER, C.; ALVES, C.; CONTE, T.; PRIKLADNICKI, R. Qualidade em ecossistemas de software: desafios e oportunidades de pesquisa. In: WORKSHOP ON DISTRIBUTED SOFTWARE DEVELOPMENT, SOFTWARE ECOSYSTEMS AND SYSTEMS-OF-SYSTEMS, 8. **Proceedings [...]**. [S. l.]: [s. n.], 2014. p. 41–44.

SCHUELLER, W.; WACHS, J. Modeling interconnected social and technical risks in open source software ecosystems. **Collective Intelligence**, SAGE Publications Sage, UK: London, England, v. 3, n. 1, p. 16, 2024.

SHTEFAN, N.; ZAPOROZHETS, O. Software quality model based on SQuaRE standards. **Radiotekhnika**, Kharkiv National University of Radio Electronics, n. 207, p. 159–165, 2021.

SILVA, F. M. dos A.; PINHEIRO, F. V. da S.; COUTINHO, E. F. Um estudo preliminar sobre a saúde de ecossistemas de software. **Revista Sistemas e Mídias Digitais (RSMD)**, v. 6, n. 1, julho 2021. Disponível em: <http://revistasmd.virtual.ufc.br/arquivos/volume-6/numero-1/rsmd-v6-n1-3.pdf>. Acesso em: 22 out. 2024.

SILVA, R. T. D.; GUSTAVO, F. L.; AUDACIO, E. D.; GENVIGIR, E. C. Identifying actors to support software ecosystem health. In: IEEE/ACM JOINT INTERNATIONAL WORKSHOP ON SOFTWARE ENGINEERING FOR SYSTEMS-OF-SYSTEMS AND WORKSHOP ON DISTRIBUTED SOFTWARE DEVELOPMENT, SOFTWARE ECOSYSTEMS AND SYSTEMS-OF-SYSTEMS (JSOS), 2017. **Proceedings [...]**. [S. l.]: IEEE, 2017. p. 76–77.

SOUZA, L. S.; RODRÍGUEZ, G.; ROCHA, F. G. Gestão da qualidade em ecossistemas de software: um mapeamento sistemático da literatura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE SOFTWARE. **Anais [...]**. Brasil, 2018.

VALENÇA, G.; ALVES, C. F. Um modelo para negociação de requisitos em ecossistemas de software. In: **ER@ BR**. [S. l.: s. n.], 2013.

APÊNDICE A – ROTEIRO PARA AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM BASEADA EM MODELOS SSN

Roteiro para avaliação da abordagem baseada em modelos SSN para análise da saúde e qualidade de ecossistemas de software

Introdução

Este documento foi elaborado com a finalidade de realizar os testes com a abordagem baseada em modelos SSN para análise da saúde e qualidade de ecossistemas de software implementada na ferramenta e repositório ECOS Modeling da maneira mais precisa e sucinta o possível. Assim, todos os procedimentos e recursos necessários para a execução do referido teste são descritos detalhadamente a seguir.

Objetivos do Teste

Este roteiro de teste de usabilidade objetiva os seguintes resultados:

- Obter dados quantitativos e qualitativos sobre a abordagem proposta
- Obter dados qualitativos de usabilidade da ferramenta e repositório ECOS Modeling
- Obter dados quantitativos de usabilidade através de:
 - Número de erros para a execução de tarefas
 - Tempo gasto na execução da tarefa
- Levantar a satisfação subjetiva dos usuários quanto aos aspectos do ECOS Modeling
 - Listagem de modelos salvos
 - Modelagem de ECOS
 - Navegabilidade
 - Terminologia
- Abordagem de evolução de ECOS
 - Dados
 - Resultados
 - Métricas
 - Gráficos
 - Tabelas
 - Modelos

- Abordagem de saúde e qualidade do ECOS
 - Dados
 - Resultados
 - Métricas
 - Gráficos
 - Tabelas

Participantes da Avaliação

Para a realização desta avaliação, alunos de graduação, pós-graduação, professores e profissionais da área de ciência da computação e/ou Engenharia de Software.

Funcionalidades Implementadas na Ferramenta ECOS Modeling

A ferramenta e repositório ECOS Modeling disponibiliza as seguintes funcionalidades:

- Cadastro de usuário e gerência de perfil
- Visualização de modelos de ECOS
- Modelagem e Cadastro de ECOS
- Edição de Modelos e de dados de ECOS
- Editor de modelos de ECOS com diversas propriedades
 - Zoom do ambiente de edição
 - Desfazer ação
 - Refazer ação
 - Selecionar tudo
 - Deselecionar tudo
 - Ações com objetos selecionados:
 - * Exclusão
 - * Cópia
 - * Cola
 - * Recorte
 - * Mover para frente e para trás
 - * Deixar texto em itálico

- * Deixar texto em negrito
- * Deixar texto sublinhado
- * Agrupar e desagrupar
- Exclusão de modelos de ECOS
- Importação de modelo em formato XML
- Exportação de modelos em diferentes formatos
 - XML
 - SVG
 - PNG
 - PDF
- Obter relatórios estatísticos de um modelo
- Gerar relatório sobre evolução de ECOS
- Gerar relatório sobre saúde e qualidade de ECOS

Roteiro da Avaliação

Você agora dará início a avaliação da abordagem de análise de saúde e qualidade de ECOS implementada na ferramenta. Para começar, utilize a ferramenta ECOS Modeling durante três minutos à sua vontade fazendo perguntas que achar necessárias.

Após esse prévio conhecimento na ferramenta ECOS Modeling, você pode executar as 5 tarefas abaixo. Evite fazer perguntas agora. Você está livre para realizar as tarefas da maneira que achar melhor. Lembre-se: a abordagem de análise de saúde e qualidade de ECOS e a ferramenta ECOS Modeling é que estão sendo avaliadas e não você. E se alguma coisa der errado, é porque a ferramenta ECOS Modeling não está atendendo corretamente as funcionalidades implementadas.

A abordagem de ECOS implementada neste trabalho consiste em

A abordagem de análise de saúde e qualidade de ECOS permite à comunidade da literatura realizar uma análise estatística sobre os dados dos modelos SSN de um ECOS, de forma automatizada, tendo como base a ferramenta ECOS Modeling. A abordagem de estudo proposta por este trabalho é realizada na ferramenta mencionada, onde os dados a serem analisados e as métricas referentes à saúde e qualidade dos ecossistemas são apresentadas. Os dados são

exibidos em forma numérica e percentual, tanto por meio de gráficos quanto em tabelas.

Para a realização de estudos utilizando a abordagem de análise da saúde e qualidade de ECOS por meio da modelagem SSN, conforme proposta neste trabalho, é necessário seguir alguns passos sequenciais. Os passos para a execução da abordagem proposta são: (i) identificar a necessidade de avaliar a saúde e qualidade de um ecossistema; (ii) selecionar o ECOS a ser analisado; (iii) realizar ou dispor de modelos SSN do ECOS selecionado para a análise; (iv) utilizar a ferramenta ECOS Modeling para realizar a análise estatística sobre os modelos SSN do ECOS; (v) coletar os dados correspondentes a cada uma das métricas de saúde e qualidade implementadas; (vi) compilar e interpretar os resultados obtidos.

Tarefas a serem realizadas

Na ferramenta ECOS Modeling:

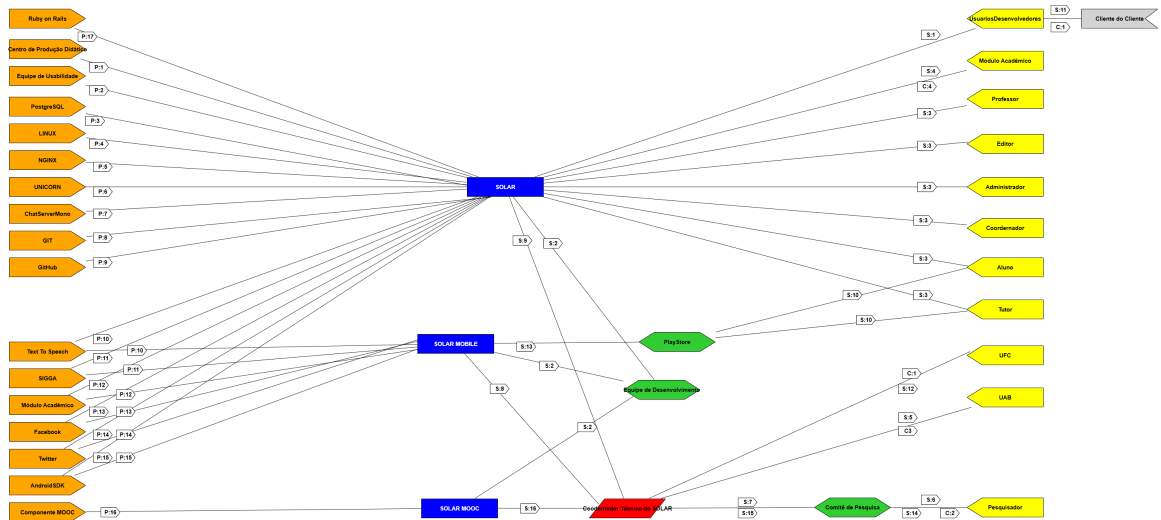
Tarefa 1 - Para que você tenha uma melhor experiência e possa usar todas as funcionalidades da ferramenta, realize o cadastro do seu perfil. Porém para realizar esta avaliação não é obrigatório o cadastro do usuário na ferramenta.

FAZER SOBRE o ECOS SOLAR OU SIPPA

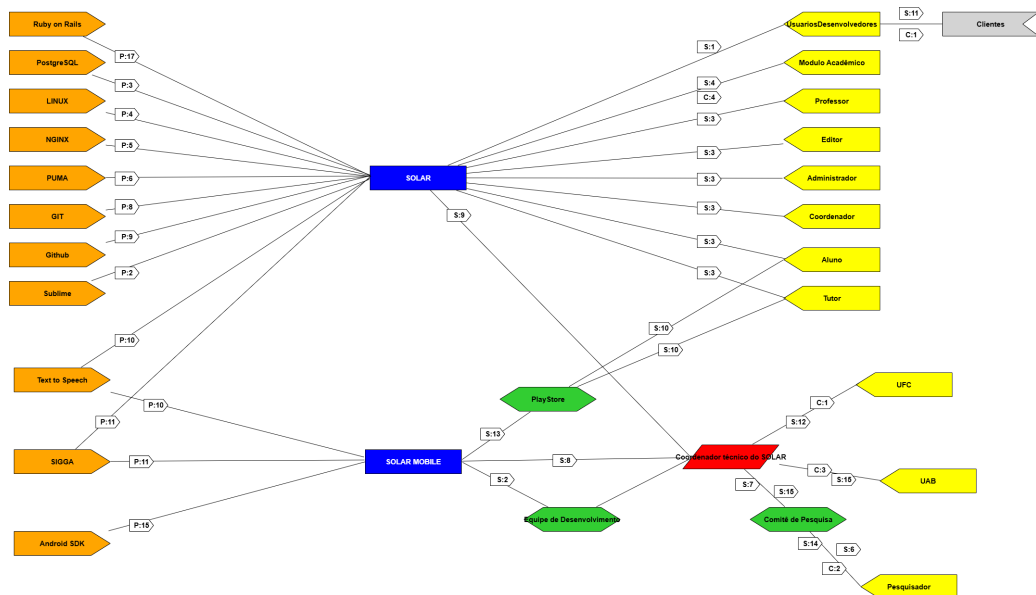
Tarefa 2 - Você estando logado ou não na ferramenta procure na aba saúde e qualidade pelos modelos do ECOS que você vai realizar a análise de saúde e qualidade. Este roteiro apresenta três modelos para o ECOS SOLAR a ser analisado nesta avaliação. Procure os modelos da suas respectivas versões nomeadas como abaixo, selecione as três versões e gere o relatório de saúde e qualidade.

ECOS SOLAR

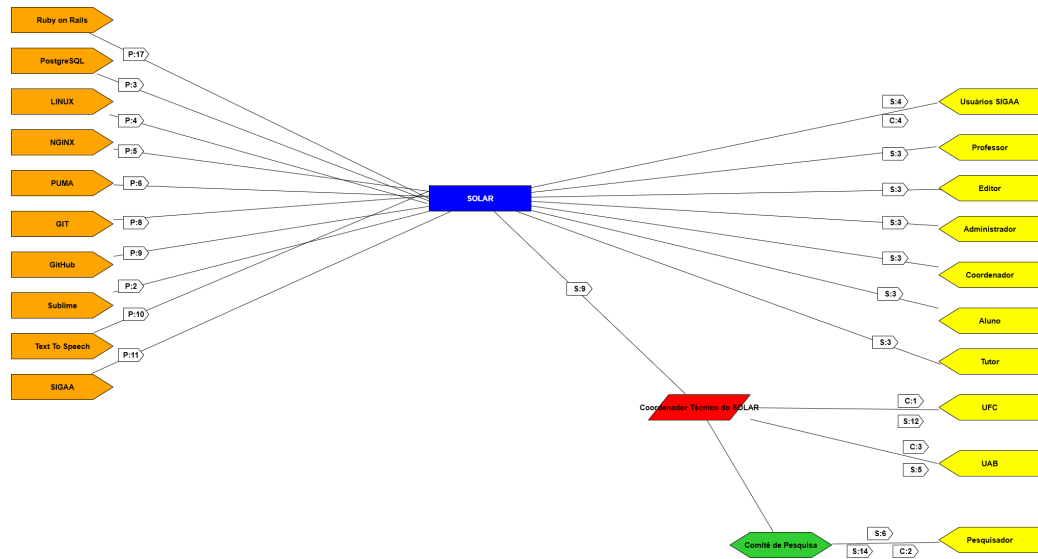
– **Modelo ECOS SOLAR versão 1**



– Modelo ECOS SOLAR versão 2



– Modelo ECOS SOLAR versão 3

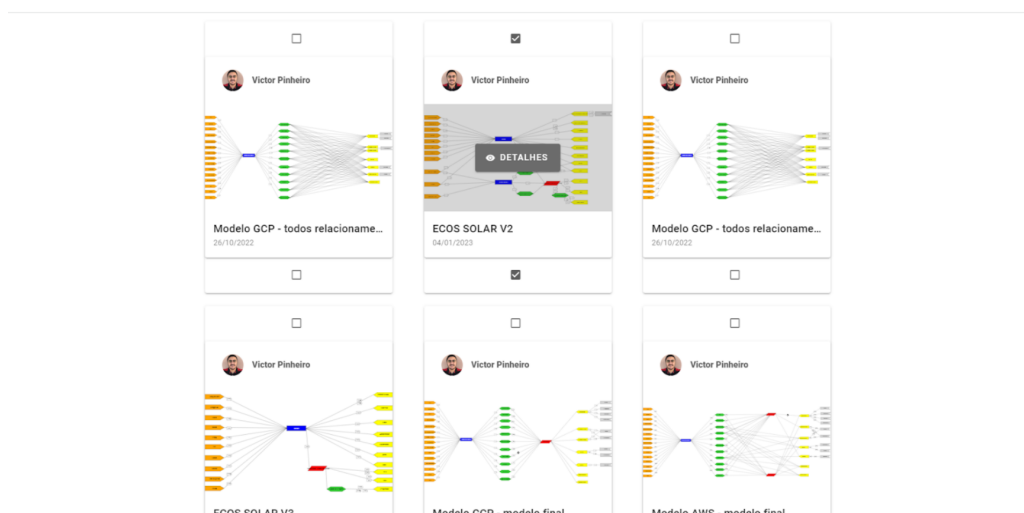


Siga como o exemplo abaixo:

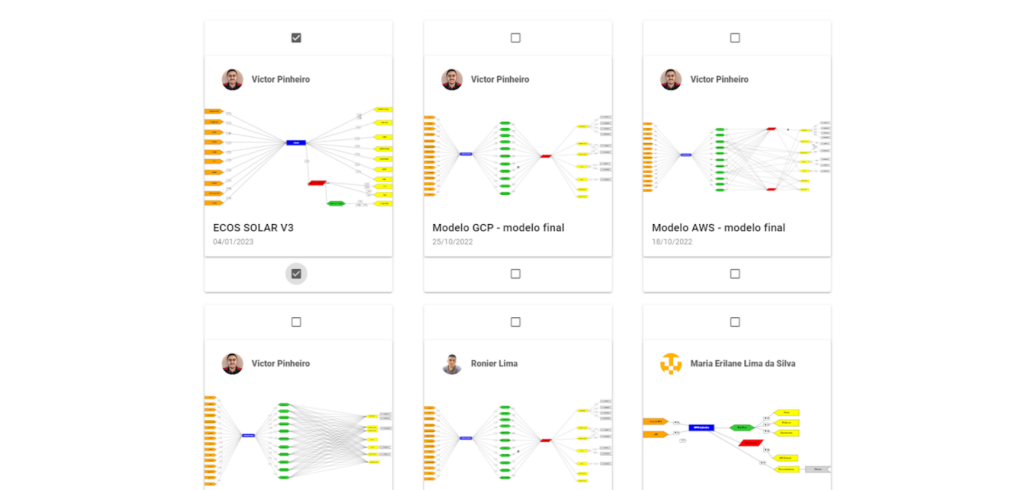
Passo 1:



Passo 2:



Passo 3:



Tarefa 3 - Repita o processo para o outro ECOS se assim desejar, em seguida analise os dados gerados no relatório comparando as versões dos modelos do ECOS, para visualizar a saúde e qualidade do ECOS sendo ela em números, gráficos e percentuais.

Tarefa 4 - Análise por meio das métricas apresentadas sobre a saúde e qualidade do ECOS.

Questionário de avaliação

Para finalizar sua participação contamos com uma última atividade, responder esse questionário da forma mais franca possível.

– <https://forms.gle/ovjkPQPELxouwcS2A>

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA ABORDAGEM

Este apêndice apresenta o questionário utilizado na avaliação da abordagem baseada em modelos SSN para análise da saúde e qualidade de ecossistemas de software, aplicado por meio da plataforma Google Formulários.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Você está sendo convidado por Francisco Victor da Silva Pinheiro, professor da Universidade Federal do Ceará – Campus Quixadá, e por André Luis Carvalho da Silva, aluno do curso de Engenharia de Software da Universidade Federal do Ceará – Campus Quixadá, como participante da pesquisa intitulada “*Uma Abordagem Baseada em Modelos SSN Para Análise da Saúde e Qualidade de Ecossistemas de Software*”.

Você não deve participar contra a sua vontade. Leia atentamente as informações a seguir e faça qualquer pergunta que desejar, para que todos os procedimentos desta pesquisa sejam esclarecidos.

O objetivo desta pesquisa é, por meio da ferramenta para modelagem e repositório de modelos de Ecossistemas de Software ECOS Modeling, analisar a saúde e qualidade de um ECOS com base em modelos SSN, utilizando a abordagem proposta neste trabalho.

Basicamente, você preencherá um questionário online composto por questões de múltipla escolha para identificação do perfil e sobre sua experiência, e questões abertas de texto livre para opinião. As respostas deverão ser baseadas em sua experiência na utilização da abordagem na ferramenta.

- Você não receberá nenhum pagamento pela participação nesta pesquisa.
- A qualquer momento você poderá recusar a continuar participando da pesquisa.
- Todas as informações obtidas serão utilizadas de forma anônima.
- Você receberá uma cópia de suas respostas por e-mail.

Questões Demográficas

1. Nome e Sobrenome.
2. Sexo (Masculino, Feminino, Prefiro não informar).
3. Gênero (Homem cis, Mulher cis, Homem trans, Mulher trans, Não binário, Intersex, Prefiro não informar).

4. Idade.
5. Grau de Instrução (Ensino Médio Completo, Ensino Superior Incompleto, Ensino Superior Completo, Especialização, Mestrado, Doutorado).
6. Ocupação (Estudante de Graduação, Estudante de Pós-graduação, Professor, Pesquisador, Profissional da área, Outros).

Questões sobre Ecossistemas de Software (ECOS)

1. Você conhece o termo Ecossistemas de Software (ECOS)?
2. Você conhece o termo Software Supply Network (SSN)?
3. Você já realizou alguma modelagem de ECOS?
4. Qual seu grau de conhecimento em modelagem de ECOS?
5. Você já analisou ou realizou estudos sobre saúde e/ou qualidade de ECOS?

Questões sobre a Ferramenta ECOS Modeling

As questões a seguir utilizam escala Likert de 1 (nível mínimo) a 5 (nível máximo).

1. Frequência de uso de ferramentas de modelagem de sistemas.
2. Facilidade de navegação na ferramenta ECOS Modeling.
3. Clareza dos recursos de navegação.
4. Avaliação do visual e interface da ferramenta.
5. Utilidade da ferramenta para o usuário.
6. Atendimento aos requisitos propostos.
7. Facilidade para encontrar informações e funcionalidades.
8. Nível de esforço mental para utilização da ferramenta.

Questões sobre a Abordagem de Saúde e Qualidade de ECOS

1. Grau de dificuldade para utilizar a abordagem de análise.
2. Grau de dificuldade para gerar relatórios de saúde e qualidade.
3. Nível de esforço mental para realizar a análise.
4. A abordagem facilita a análise da saúde e qualidade de ECOS.
5. A abordagem é útil no processo de análise.
6. Clareza e compreensão da interação com a funcionalidade de análise.

7. Satisfação com os dados, gráficos e tabelas gerados.
8. Percepção da saúde e qualidade do ECOS a partir dos resultados.
9. Satisfação com as métricas utilizadas.
10. A abordagem facilita a compreensão geral do estado do ECOS.
11. As métricas abrangem os principais aspectos da saúde e qualidade do ECOS.
12. Clareza e facilidade de interpretação dos resultados apresentados.

Questões Abertas

1. Pontos fortes da ferramenta e da abordagem.
2. Pontos fracos identificados.
3. Sugestões de melhoria.