

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

Francisco Victor da Silva Pinheiro¹, Emanuel Ferreira Coutinho¹

¹Programa de Pós-Graduação em Computação (PCOMP)
Universidade Federal do Ceará (UFC)
Quixadá – CE – Brasil

victor.pinheiro.ce@alu.ufc.br, emanuel.coutinho@ufc.br

Abstract. *Software Ecosystems (SECO) are sets of actors and components that collaborate to provide solutions in the software industry. The Software Supply Network (SSN) notation is a network of software, hardware, and service organizations that cooperate to meet market demands. Recent studies propose modeling the SECO network, but there is no formalized standard for this area. The evolution of an SECO occurs when it grows in relation to itself and its internal and external actors and relationships, and expands its relationships with other SECO. This work proposes an approach to study the evolution of an SECO through SSN modeling, using the ECOS Modeling modeling tool, aiming to provide a broad view of the evolution based on statistical data, allowing a quantitative, qualitative and percentage understanding of the evolution .*

Resumo. *Ecossistemas de Software (ECOS) são conjuntos de atores e componentes que colaboram para fornecer soluções na indústria de software. A notação Software Supply Network (SSN) é uma rede de software, hardware e organizações de serviços que cooperam para atender às demandas do mercado. Estudos recentes propõem a modelagem da rede de ECOS, mas não há um padrão formalizado para essa área. A evolução de um ECOS ocorre quando ele cresce em relação a si mesmo e aos seus atores e relacionamentos, internos e externos, e expande seus relacionamentos com outros ECOS. Este trabalho propõe uma abordagem para estudar a evolução de um ECOS por meio da modelagem SSN, utilizando a ferramenta de modelagem ECOS Modeling, visando fornecer uma visão ampla da evolução com base em dados estatísticos, permitindo uma compreensão quantitativa, qualitativa e percentual sobre a evolução.*

1. Introdução

1.1. Visão Geral do Tema

As empresas de software abriram suas interfaces para desenvolvedores externos para integrar soluções específicas e desenvolver novos aplicativos dentro de suas plataformas [Che and Perry 2014]. Assim, as empresas interagem com atores externos, que podem complementar a funcionalidade dos produtos existentes e oferecer serviços técnicos, como integração e manutenção de sistemas [Cusumano 2004]. Segundo Weiblen and Chesbrough (2015), esse fenômeno caracteriza um ECOS. Nesse cenário, as empresas

investem em modelos de negócios inovadores para cocriar valor para a rede. Esses novos modelos de negócios não envolvem apenas benefícios monetários, também podem fornecer promoção e compartilhamento de conhecimento [Manikas and Hansen 2013].

Neste contexto, o conceito de ECOS é apresentado por diversos autores como: Jansen et al. (2007), Bosch (2009), Jansen et al. (2009) e [Coutinho et al. 2019], que vão desde ecossistemas sociais até ecossistemas de negócios, como é o conceito mais atual. Segundo Coutinho et al. (2019), ECOS é uma metáfora de ES que foi aplicada para a compreensão da dinâmica da rede de fornecimento de software centrada em plataformas de software. Ou ainda, um conjunto de entidades colaborando em conjunto com outras entidades em uma plataforma tecnológica central, havendo assim troca de informações, recursos e artefatos. Ou ainda ECOS podem consistir em um conjunto de atores interagindo como uma unidade, que por sua vez interagem com um mercado distribuído entre software e serviços, juntamente com as relações entre as mais variadas entidades [Jansen et al. 2009].

Segundo Pontes and Arakaki (2011) ao longo da sua evolução o produto de software sofre sistematicamente alterações que podem consequentemente afetar a evolução do ecossistema que ele está inserido e se relacionando. A evolução do software também pode trazer a deterioração de sua estrutura de qualidade e consequentemente, afetar a sua saúde. A evolução de um software é um fato contínuo no ciclo de vida, mas mudar sistemas sem técnica pode prejudicar alguns aspectos de qualidade, na arquitetura e na saúde do software. Graaf (2007) distingue claramente dois tipos de transformações durante a vida de um software. Segundo o autor os modelos e processos existentes envolvem tipicamente transformações verticais, do abstrato para o concreto, como acontece no ciclo de desenvolvimento de software. Por outro lado, atividades como manutenção e evolução, típicas em qualquer software, envolvem transformações horizontais como a migração do sistema de uma plataforma para outra.

A evolução de um ECOS acontece quando o ecossistema cresce de maneira significativa em relação a si mesmo e aos seus atores e seus respectivos relacionamentos, podendo ser internos e externos, assim como a expansão de relacionamentos do próprio ECOS com outros ECOS, havendo assim uma maior troca de informações, serviços, produtos e artefatos. Esse crescimento colaborativo consiste na evolução da plataforma central que é o centro do ECOS. Segundo [Williamson and De Meyer 2012], embora os ECOS possam evoluir por meio de auto-organização, como em ecossistemas criados por comunidades de código aberto, frequentemente, uma empresa líder catalisa o surgimento e o desenvolvimento subsequente da rede.

Boucharas et al. (2009) propuseram em seu estudo o uso da notação SSN - Rede de Produção de Software, uma notação já utilizada pela comunidade de ECOS para a modelagem. O SSN é uma série de software, hardware e organizações de serviços interligados, que cooperam para atender às demandas do mercado. Os elementos gráficos da notação auxiliam na representação dos atores e os comportamentos e interações dos mesmos dentro do ecossistema. A notação foi estendida por Costa et al. (2013), adicionando mais componentes e fornecendo uma maior explicação sobre cada um deles, como também para o seu uso de modo geral.

1.2. Problema de Pesquisa

Na literatura são encontrados alguns trabalhos que abordam ou aplicam os conceitos e definições de ECOS e modelagem SSN, propondo modelos, exemplos, estudos e descrições sobre ecossistemas pertencentes a diversos domínios, como, por exemplo, no trabalho proposto por Coutinho et al. (2017a) sobre o ECOS do SOLAR pertencente ao domínio educacional. Um problema identificado na literatura por Coutinho et al. (2017b) é a carência de modelos, de ferramentas de modelagem, de falta de suporte a modelagem. Os autores argumentam que é muito livre sua representação, qualquer ferramenta para modelagem UML, BPMN, imagens arquiteturais, etc., são utilizadas para a modelagem e descrição de ECOS, sem seguir um padrão de representação.

Contudo, tanto a definição de ECOS quanto suas aplicações em diversos domínios são emergentes nos campos da pesquisa, ensino e indústria. Vários problemas e limitações são encontrados na literatura, assim como os já mencionados previamente. São escassos estudos, abordagens, metodologias, ferramentas, técnicas, notações, e trabalhos relacionados à modelagem, a conceitos e ao ensino de ECOS. Conceitos como evolução, simulação, modelagem são campos pouco explorados e que dão margem para diversas pesquisas conceituais e experimentos práticos beneficiando a comunidade.

1.3. Definição dos Objetivos

Neste contexto, este trabalho propõe uma abordagem para estudar, caracterizar e visualizar a evolução de ECOS por meio da modelagem SSN, utilizando a ferramenta de modelagem e repositório para modelos ECOS *Modeling* como suporte, com a finalidade de fornecer uma ampla visão da evolução de um ECOS sob o viés de dados estatísticos de modelos SSN possibilitando uma compreensão em quantitativa, qualitativa e percentual sobre a evolução.

Os objetivos específicos são: (i) realizar um mapeamento sistemático de literatura; (ii) propor uma abordagem de estudo sobre evolução de ECOS com apoio da modelagem SSN; (iii) estender novas funcionalidades à ferramenta/repositório para modelos de ECOS; (iv) realizar um estudo de caso sobre a abordagem proposta com os ECOSs SOLAR e SIPPA ambos reais e pertencentes ao domínio educacional; (v) criar um cenário de avaliação da abordagem; e (vi) aplicar um questionário a estudantes, professores, profissionais e pesquisadores da área de computação.

2. Trabalhos Relacionados

Dos 26 trabalhos analisados pelo mapeamento sistemático, foram identificados 3 estudos principais que se relacionam com o tema deste trabalho. Abaixo, são descritos cada um deles e apresentamos uma comparação baseada em critérios, destacando os aspectos comuns e distintivos em relação à pesquisa proposta.

Em Coutinho et al. (2017b), os autores relatam em seu trabalho que os sistemas intensivos em software tornaram-se cada vez mais onipresentes, grandes e complexos, com disseminação em vários domínios de aplicação e altamente dependentes de diferentes tecnologias. Apesar dos avanços iniciais na pesquisa ECOS, existem poucos modelos analíticos, estudos de caso com dados reais e ferramentas de suporte integradas. Uma grande barreira para a evolução do campo para auxiliar a tomada de decisão na indústria real é a falta de suporte de modelagem ECOS.

Massanori et al. (2020) os autores apresentam o *Developer Relations (DevRel)*, que é uma estratégia para atrair, engajar e amadurecer desenvolvedores na contribuição para uma plataforma. Ele suporta o estabelecimento de ECOS. Os autores contribuem para a compreensão de como, por que e quando um ECOS está se tornando estático (ou seja, morrendo) e o status “*post mortem*” de um ECOS. Inicialmente, estudou-se o *Windows Phone* a partir de 46.030 perguntas no *Stack Overflow* para entender o que acontece com um ECOS quando a plataforma principal é descontinuada. A partir da análise de resultados percebeu-se que pode ser útil para entender os “sinais vitais” do colapso do ecossistema, padrões migratórios/sobreviventes, reciclagem de recursos técnicos e transferência de energia entre indivíduos, populações, comunidades e ECOSs.

Mazrae (2021) analisou como a evolução das características sociotécnicas em grandes ecossistemas de software de código aberto afeta a saúde desses ecossistemas e seus blocos de construção. Para capturar o máximo de dimensões diferentes da saúde do software, os autores pretenderam combinar os aspectos humanos (sociais) e técnicos da atividade de desenvolvimento de software colaborativo. Essas dimensões foram integradas em modelos de aprendizado de máquina computacional e modelos de recomendação para permitir a previsão de tendências de mudança na integridade do software e melhorar a integridade futura com base na análise histórica.

A Tabela 1 apresenta uma comparação dos aspectos comuns e incomuns entre os trabalhos relacionados identificados. Os trabalhos relacionados são comparados ao trabalho proposto com base em critérios obtidos através de uma análise realizada em cada trabalho analisado, destacando problemas e lacunas existentes no domínio da literatura assim como as dificuldades apontadas pelos autores.

Tabela 1. Comparação entre os principais trabalhos relacionados.

Trabalho	SSN	Modelagem	Ferramenta	Evolução	Abordagem	Métricas
[Coutinho et al. 2017b]	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
[Massanori et al. 2020]	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim
[Mazrae 2021]	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim
Trabalho Proposto	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

3. Metodologia

O trabalho foi dividido em etapas para alcançar os objetivos definidos. Inicialmente, foram realizadas atividades de pesquisa comuns, como levantamento bibliográfico e mapeamento sistemático de literatura sobre trabalhos relacionados. Essas etapas visaram o desenvolvimento de uma abordagem para estudar a evolução de ECOS. As outras etapas da pesquisa estão detalhadas em um diagrama de atividades apresentado na Figura 1, para facilitar o entendimento da execução das atividades.

Conduzir um mapeamento sistemático de literatura: Para compreender o estado da arte da literatura e possibilitar embasamento teórico para este trabalho, o primeiro passo a ser realizado é um mapeamento sistemático de literatura. Com o objetivo de encontrar fatores que contribuem de maneira positiva ou negativa à esta proposta foi realizado um mapeamento sistemático de literatura que consiste em pesquisar em base de dados pré-estabelecidas trabalhos primários relacionados que obtenham conceitos relacionados ao contexto do trabalho.

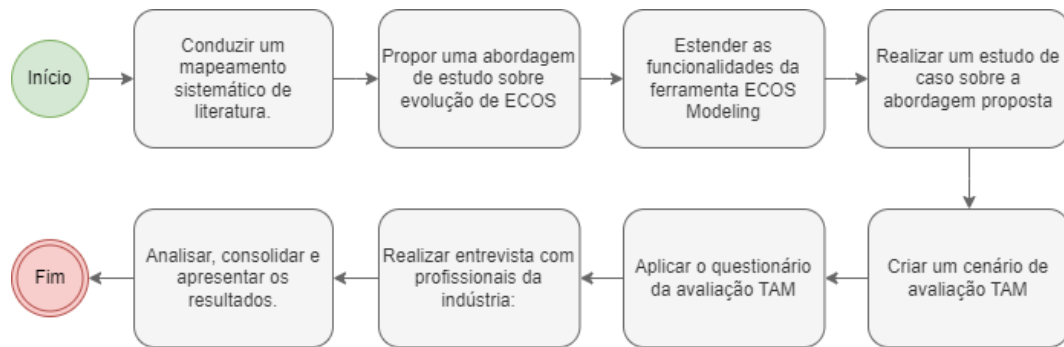


Figura 1. Fluxo metodológico para a execução deste trabalho.

Propor uma abordagem de estudo sobre evolução de ECOS: Este passo metodológico é o mais abrangente e envolve todos os pontos importantes desta proposta e utiliza a ferramenta *ECOS Modeling* como base. A proposta é uma abordagem de estudo sobre a evolução dos ecossistemas com a utilização da modelagem SSN. A abordagem se dará por meio do crescimento do modelo SSN ao longo do tempo, mediante diversas concepções sobre o modelo ou ainda por meio dos diferentes estudos e modelos gerados. Com esta abordagem poderá realizar-se estudos sobre a evolução do ECOS de modo geral, conforme seus atores e relacionamentos, avaliações e análises sobre a saúde do ECOS e perspectivas do ECOS no mercado.

Estender as funcionalidades da ferramenta *ECOS Modeling*: *ECOS Modeling* é uma ferramenta que dá suporte a literatura no quesito modelagem SSN de ECOS e que suporta a utilização da notação SSN e possibilita a criação de modelos de ECOS de diversos domínios. As funcionalidades que serão implementadas serão especificamente sobre a abordagem de estudo sobre evolução de ECOS com foco em modelagem SSN. A ferramenta atenderá a duas vertentes emergentes na literatura, que são: a pesquisa em ECOS e o ensino de ECOS, conceitos e aplicações, e poderá também dar suporte a estudos sobre ECOS na indústria.

Realizar um estudo de caso sobre a abordagem proposta: Uma vez a abordagem de estudo sobre evolução de ECOS concluída tanto em termos conceituais como implementada na ferramenta, será desenvolvido um estudo de caso sobre a abordagem em dois tipos de ECOS distintos: o ECOS SIPPA e o ECOS SOLAR. O estudo de caso implementado permite um suporte à abordagem proposta em termos práticos.

Criar um cenário de avaliação TAM: Após a proposta implementada e testada, o passo seguinte foi definir um cenário de avaliação para ilustrar o funcionamento da abordagem proposta na ferramenta. Foi definido um cenário de utilização para alguns especialistas da área de ECOS realizarem a avaliação, em que os usuários participantes foram pessoas com experiência em pesquisa acadêmica sobre a área de estudo em questão. Foi utilizado a técnica de avaliação TAM para a avaliação da proposta por especialistas.

Aplicar o questionário da avaliação TAM: Após a conclusão da avaliação foi aplicado um questionário TAM sobre a abordagem proposta a alunos, professores, profissionais e pesquisadores na área de computação participantes, buscando validar a proposta deste trabalho e investigar justificativas para apoiar a abordagem proposta sobre empregar o estudo de evolução de ECOS por meio da modelagem SSN. Também foi avaliado o uso

da ferramenta ECOS *Modeling* de modo geral.

Realizar entrevista com profissionais da indústria: Esta etapa consistiu em realizar uma entrevista com profissionais da indústria, atuantes no ECOS SIPPA, um dos ECOS utilizados no estudo de caso de avaliação da proposta. Esta entrevista permitiu avaliar sob um panorama dos profissionais ligados ao ECOS SIPPA, sobre sua evolução e se a proposta deste estudo é eficiente na prática da indústria real.

Analisar e consolidar os resultados obtidos: Por fim, após a execução das etapas anteriores, as informações foram consolidadas para avaliar os resultados obtidos. O intuito é verificar se a abordagem proposta por este trabalho é eficiente. Para isso, gráficos e relatórios com os resultados obtidos para analisar as informações foram projetados e desenvolvidos, e em seguida foram relacionados com os objetivos deste trabalho e as questões de pesquisa definidas.

4. Abordagem de Estudo sobre Evolução de ECOS

A abordagem de estudo sobre evolução de ECOS permite a comunidade realizar uma análise estatística sobre os dados dos modelos SSN de um ECOS, de forma automatizada tendo como base a ferramenta ECOS *Modeling* [Pinheiro et al. 2022]. Os passos estão detalhados a seguir na Figura 2:

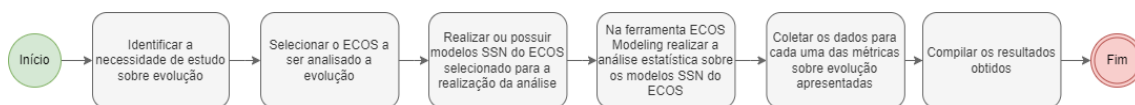


Figura 2. Fluxo da abordagem sobre evolução de ECOS

Identificar a necessidade de estudo sobre evolução: o primeiro passo para a realização da abordagem é identificar a necessidade de estudo da evolução de ECOS sobre a modelagem SSN. Essa identificação é necessária para realizar um levantamento das informações iniciais do estudo de evolução. O foco sobre estudo da evolução de um ECOS deverá ser em relação a quantidade de componentes presentes no ECOS, quantidade de atores e relacionamentos, assim como a quantidade interações, entradas e saídas no escopo do ECOS. Outro ponto que deve ser tratado é em relação a como a plataforma central é afetada com a evolução do ECOS, e quais fatores individuais de cada componente impactam na evolução de modo geral.

Selecionar o ECOS a ser analisado a evolução: o segundo passo a ser realizado é selecionar o ECOS a ser estudado/analísado a sua evolução, ao longo de um certo período de tempo ou ao longo de certas concepções de modelos SSN que o mesmo ECOS possa ter. O ECOS escolhido pode pertencer a qualquer domínio e pode ser aberto ou fechado. O ECOS a ser analisado deverá possuir pelo menos cinco componentes, atores e relacionamentos em seu escopo. O estudo sobre a evolução de ECOS sob o viés da modelagem SSN irá permitir uma concepção visual e estatística sobre as mudanças que ocorreram com o ECOS, sejam elas de entradas ou saídas de atores e relacionamentos no ECOS.

Realizar ou possuir modelos SSN do ECOS selecionado para a realização da análise: para a realização da análise estatística sobre a evolução do ECOS escolhido no passo anterior, deverá ser elaborada uma modelagem SSN do ECOS de acordo com as mudanças que ocorreram ao longo do tempo escolhido, ou o ECOS já possuir modelos SSN gerados por

outros autores que possam evidenciar numericamente e visualmente o comportamento do ECOS assim como sua evolução ao longo dos modelos SSN gerados. A análise estatística compreende a utilização de contagens de dados sobre os modelos, média de evolução por componente e por modelos e dados percentuais sobre a evolução tanto por componentes como por modelos e a diferença percentual de um modelo para outro.

Na ferramenta ECOS Modeling realizar a análise estatística sobre os modelos SSN do ECOS: toda a parte de tratamento de dados estatísticos será realizada de forma automática na ferramenta *ECOS Modeling*. A ferramenta irá disponibilizar todos os dados em primeiro lugar individualmente para cada modelo, sendo dados estatísticos numéricos e percentuais apresentados em gráficos e tabelas. Posteriormente será apresentado um gráfico comparando a quantidade de componentes e relacionamentos para cada modelo e uma tabela com esses dados comparados, mostrando as diferenças numéricas e percentuais. Serão apresentados dois gráficos gerais sobre o quantitativo total de componentes no ECOS assim como com o quantitativo total de relacionamentos e duas tabelas com esses dados evidenciando as diferenças numéricas e percentuais.

Coletar os dados para cada uma das métricas sobre evolução apresentadas: Os dados gerados pelo relatório de evolução do ECOS devem ser relacionados às métricas de evolução, para constatar evoluções de aumento, diminuição, ou estabilidade de componentes, relacionamentos e atores no ECOS e quais os impactos desses aumentos, diminuição, ou estabilidade na plataforma central e no ECOS como um todo. A ferramenta irá apresentar a relação dos dados obtidos com as métricas, porém a interpretação e análise mais profunda o autor deverá realizar para dar mais confiança aos estudo e investigar mais a fundo sobre a evolução, se caso a mesma foi benéfica ou não para o crescimento e o ciclo de vida do ECOS como um todo.

Compilar os resultados obtidos: por fim devem ser compilados todos os resultados obtidos tanto pela ferramenta como pela projeção e relação com as métricas de evolução. Esses resultados apontam a evolução do ECOS pelo determinado intervalo de tempo dos modelos SSN criados para o ECOS. Com esses resultados pode-se inferir como o ECOS irá se comportar em relação às novas evoluções, adição ou remoção de novos atores e relacionamentos e como a plataforma central está relacionada a todos estes resultados sobre a evolução do ECOS.

4.1. Implementação da Abordagem na Ferramenta ECOS Modeling

Na proposta implementada na ferramenta, o usuário deve selecionar dois ou mais modelos SSN de um ECOS dispostos na listagem de modelos da ferramenta e clicar em gerar relatório de evolução. Após isso uma aba irá se abrir com o relatório da evolução do ECOS selecionado, com gráficos, tabelas, métricas, dados percentuais, média e dados absolutos.

A comparação entre as duas versões do ECOS analisado apresenta um gráfico com uma comparação numérica entre as versões, um gráfico com uma comparação percentual, um gráfico comparando o valor total de componentes e relacionamentos, gráfico com valores comparando o quantitativo de relacionamentos de uma versão para outra, um gráfico apresentado uma diferença numérica entre a primeira e a última versão e um gráfico com a variação percentual entre a primeira e última versão do ECOS analisado.

É apresentada também uma tabela geral comparando a diferença numérica, per-

centual e exibindo a média entre uma versão e outra analisada. No caso, se forem analisadas duas versões a comparação será da versão 1 para a versão 2, se for realizada a análise com 3 versões, a comparação é realizada da versão 1 para a versão 2 e da versão 2 para a versão 3. Por último são apresentados resultados para as métricas quantitativas. A Figura 3 apresenta a página de selecionar os modelos SSN para a análise de evolução, os gráficos mencionados e uma tabela da comparação e a tabela com os resultados para as métricas quantitativas.

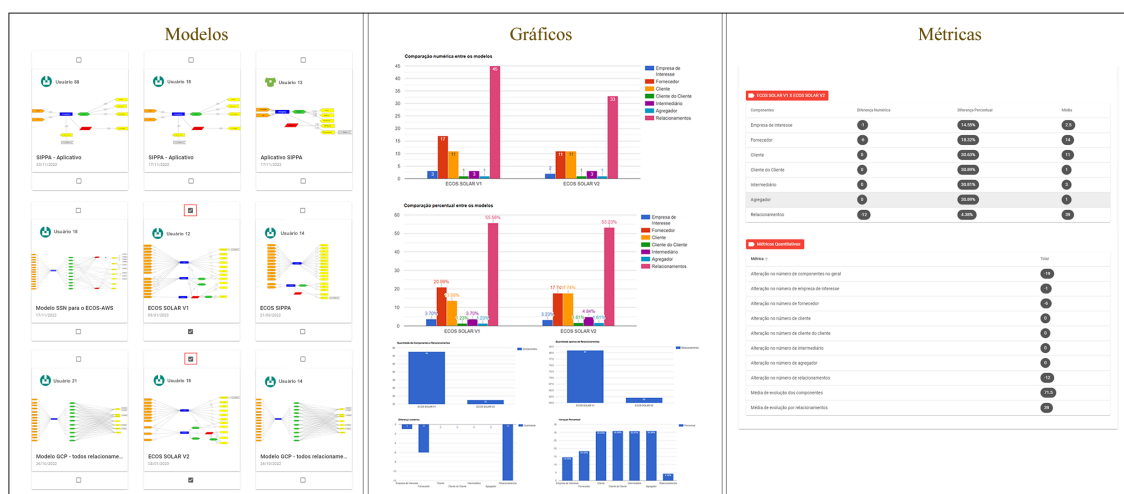


Figura 3. Análise de evolução de ECOS implementada na ferramenta ECOS Modeling.

5. Estudo de Caso

Para a realização de cada um dos estudos de caso sobre os ECOSs previamente SOLAR e SPPA, foram realizadas algumas consultas e entrevistas com profissionais experientes diretamente ligados ao desenvolvimento e a manutenção dos softwares SOLAR e SPPA pertencentes ao domínio educacional. Essas consultas e entrevistas serviram para captar informações sobre o estado atual das aplicações, captar opiniões sobre os modelos SSN dos ECOS e validar os dados obtidos pela análise de evolução assim como validar o modelo SSN do ECOS em si, conforme está atualmente. Os arquivos referentes aos resultados obtidos neste estudo de caso realizado por este trabalho, os modelos SSN para os ECOSs em formatos PNG e XML e o relatório de evolução de cada um dos ECOSs estão disponíveis em um repositório na plataforma *GitHub*¹.

5.1. Análise da Evolução do ECOS SOLAR

Para a realização da análise de evolução do ECOS SOLAR a partir da abordagem proposta por este trabalho, foi utilizado o modelo SSN para o ECOS SOLAR apresentado no trabalho de [Coutinho et al. 2017a]. O modelo SSN do SOLAR traz uma série de componentes e relacionamentos e um visão geral da comunidade de usuários assim como da plataforma central e os demais componentes de tecnologia.

Para a captação de dados sobre a evolução do ECOS SOLAR ao longo do tempo, foi realizada uma consulta com um profissional com uma vasta experiência tanto em desenvolvimento e manutenção de software como em negócios. O profissional entrevistado

¹<https://github.com/ibituruna/EVOLUCAO-ECOS>

já trabalha com o SOLAR há um tempo bastante considerável para perceber e descrever com precisão as mudanças que ocorreram desde 2017 (primeiro modelo SSN do ECOS SOLAR) até a atualidade, ou seja evidenciando a evolução do SOLAR. A Figura 4 apresenta as versões do modelo SSN do ECOS SOLAR feitos na ferramenta ECOS Modeling para a realização do estudo sobre a sua evolução.

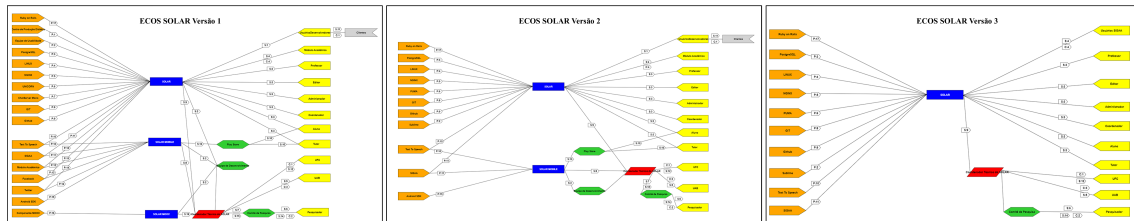


Figura 4. ECOS SOLAR Versões 1, 2 e 3.

5.2. Resultados Estatísticos da Evolução do ECOS SOLAR

A Tabela 2 apresenta os dados numéricos sobre os atores e relacionamentos de cada versão do ECOS SOLAR. Apenas com a visualização desses números já é perceptível, assim como com a visualização dos modelos, a evolução ocorrida no ECOS SOLAR. Neste caso os números decrescem de uma versão para outra do ECOS por conta da descontinuações de uso de algumas tecnologias e serviços e de versões da plataforma SOLAR.

Tabela 2. Dados numéricos de atores e relacionamentos do ECOS SOLAR.

ECOS SOLAR versão 1		ECOS SOLAR versão 2		ECOS SOLAR versão 3	
Componentes	Quantidade	Componentes	Quantidade	Componentes	Quantidade
Empresa de Interesse	3	Empresa de Interesse	2	Empresa de Interesse	1
Fornecedor	17	Fornecedor	11	Fornecedor	10
Cliente	11	Cliente	11	Cliente	10
Cliente do Cliente	1	Cliente do Cliente	1	Cliente do Cliente	0
Intermediário	3	Intermediário	3	Intermediário	1
Agregador	1	Agregador	1	Agregador	1
Relacionamentos	45	Relacionamentos	33	Relacionamentos	22
Total versão 1	81	Total versão 2	62	Total versão 3	45

A Figura 5 Gráficos (A) e (B) apresenta a representação dos dados numéricos e dados percentuais de forma individual para cada versão do ECOS SOLAR. Pode-se perceber ainda com mais clareza e detalhes a evolução do ECOS SOLAR. Na Figura 5 Gráfico (A) pode-se perceber a diminuição no número mais drasticamente dos fornecedores e relacionamentos do ECOS SOLAR. Esse número é reforçado com os dados percentuais apresentados na Figura 5 Gráfico (B).

5.3. Análise da Evolução do ECOS SIPPA

Em torno do SIPPA existe todo um conjunto de relacionamentos formados por: usuários, fornecedores de tecnologia, desenvolvedores de soluções e relacionamentos comerciais. Alguns sistemas foram desenvolvidos em torno da plataforma central, com isso, versões e manutenções surgiram. O fornecimento de uma API para a construção de soluções para a plataforma *mobile* também contribuiu para a integração e difusão do ambiente. Nesse contexto surgiu o ECOS SIPPA composto por um conjunto de elementos de diferentes

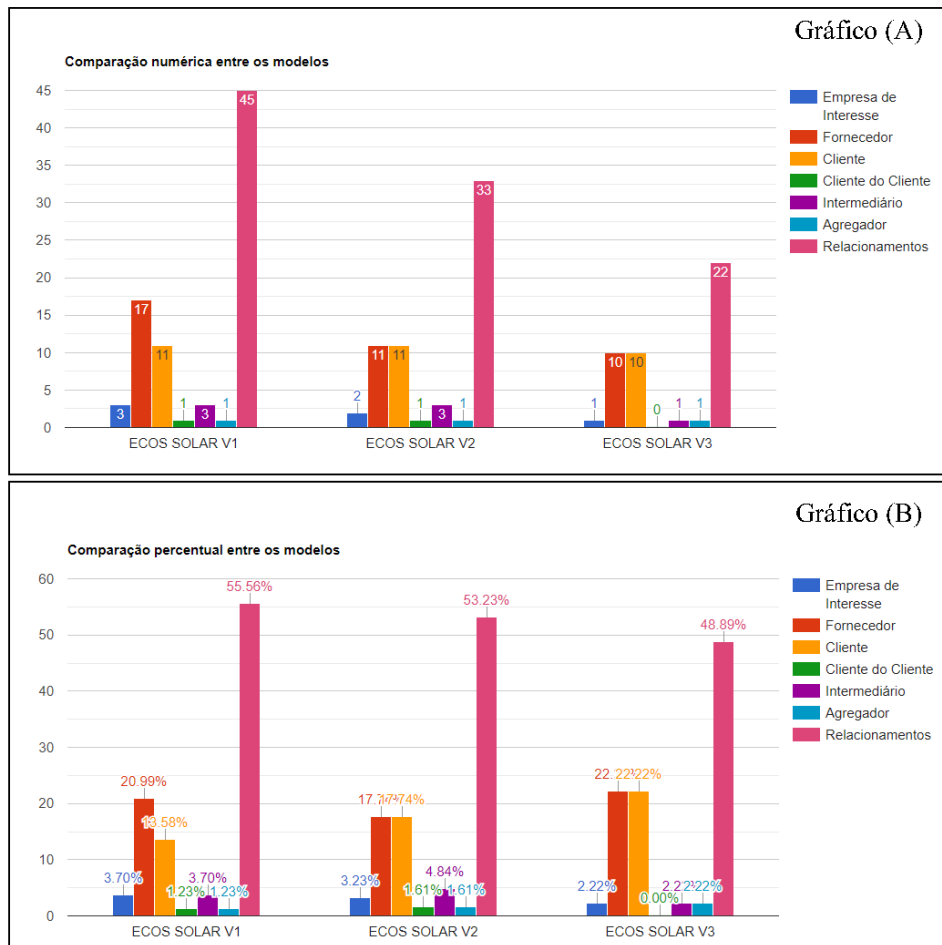


Figura 5. Comparação numérica e percentual entre as versões do ECOS SOLAR.

níveis que produzem relações simbióticas. A Figura 6 apresenta as versões do modelo SSN para o ECOS SIPPA, onde podemos identificar os atores dos ECOS, as relações, e o que essas relações produzem, assim como seus respectivos papéis dentro do ecossistema.

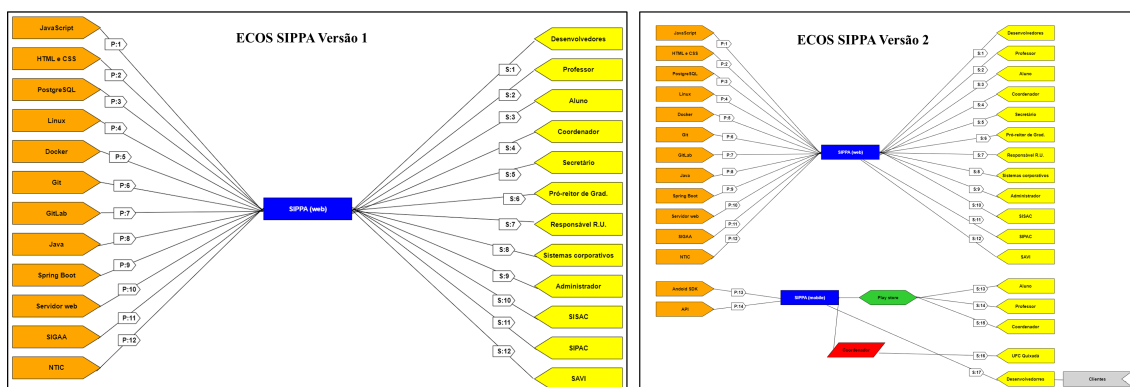


Figura 6. ECOS SIPPA Versões 1 e 2.

5.4. Resultados Estatísticos da Evolução do ECOS SIPPA

A Tabela 3 apresenta os dados numéricos sobre os atores e relacionamentos de cada versão do ECOS SIPPA. Apenas com a visualização desses números já é perceptível assim como com a visualização dos modelos a evolução ocorrida no ECOS SIPPA. Neste caso os números crescem comparando a versão 1 com a versão 2.

Tabela 3. Dados numéricos sobre os atores e relacionamentos das versões do ECOS SIPPA.

ECOS SIPPA versão 1		ECOS SIPPA versão 2	
Componentes	Quantidade	Componentes	Quantidade
Empresa de Interesse	1	Empresa de Interesse	2
Fornecedor	12	Fornecedor	14
Cliente	12	Cliente	17
Cliente do Cliente	0	Cliente do Cliente	1
Intermediário	0	Intermediário	1
Agregador	0	Agregador	1
Relacionamentos	24	Relacionamentos	34
Total Versão 1	49	Total Versão 2	70

A Figura 7 Gráfico (A) e (B) apresenta a representação dos dados numéricos e dados percentuais de forma individual para cada versão do ECOS SIPPA. Onde pode-se perceber com mais clareza e com detalhes a evolução que ocorreu no ECOS SIPPA.

6. Avaliação da Abordagem

Este trabalho apresenta uma avaliação da proposta sobre evolução de ECOS. A avaliação é referente a suas funcionalidades, métricas, resultados, finalidade assim como sobre a abordagem implementada na ferramenta ECOS *Modeling* para avaliar as funcionalidades e a experiência do usuário em relação ao uso da ferramenta para a análise da evolução de ECOS. Para isto, utilizou-se o *Technology Acceptance Model* (TAM) com alunos de cursos de graduação e pós-graduação em computação, profissionais da área de ES e computação e pesquisadores da área de ECOS, ES e computação.

6.1. Planejamento e Execução

Para as perguntas do questionário de avaliação foi utilizada a escala do tipo *Likert*, uma escala composta por 5 (cinco) itens. Os itens da escala foram divididos homogeneamente, assim, do total de 5 itens de cada escala, 2 (dois) correspondem a um extremo, 1 (um) item central representa neutralidade e os outros 2 (dois) correspondem ao outro extremo.

O grau de concordância cresce conforme maior for o número de pontos assinados. O ponto 3 (ponto central) da escala foi considerado como neutro. As escalas utilizadas são de natureza ordinal. É importante ressaltar que o objeto do instrumento de pesquisa - questionário - foi o usuário, portanto, algumas das escalas foram preparadas em primeira pessoa com intuito de facilitar a interpretação dos itens pelos respondentes.

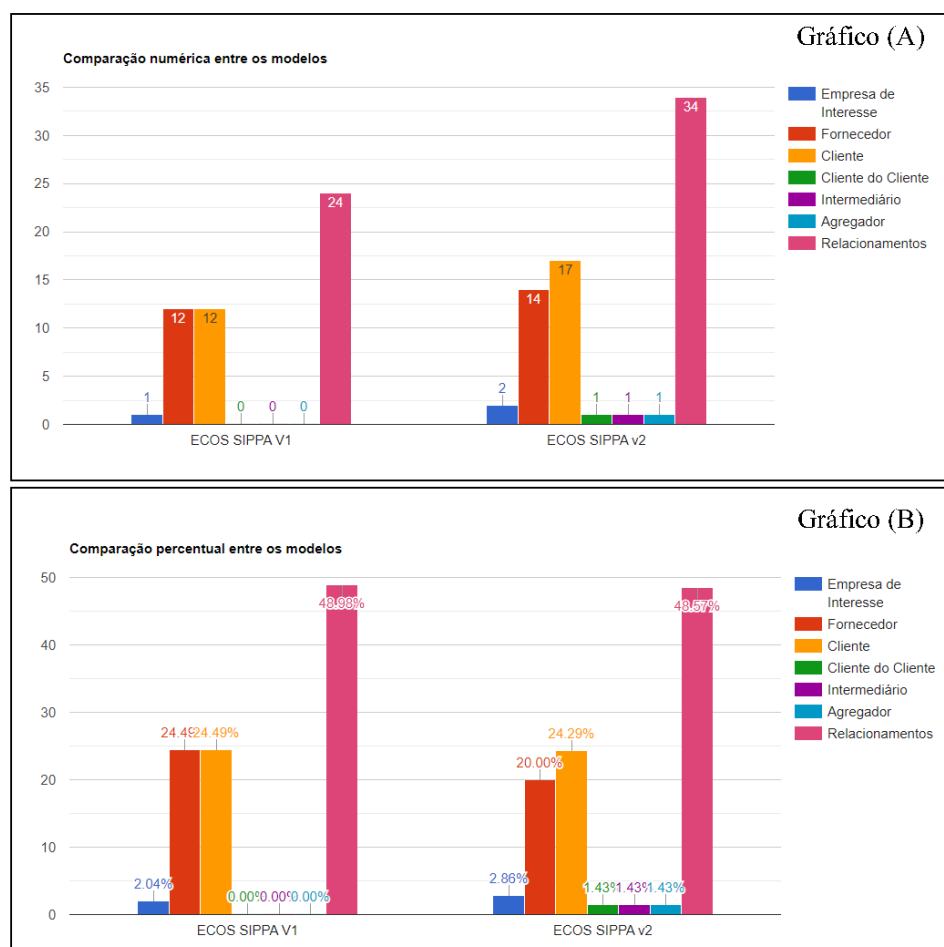


Figura 7. Comparação numérica e percentual entre as versões do ECOS SIPPA.

Inicialmente um teste piloto da avaliação foi conduzido com membros de um grupo de pesquisa em ECOS, visando captar possíveis falhas e inconsistências no formulário de avaliação antes de aplicá-lo para as demais participantes. A avaliação da proposta de análise de evolução de ECOS apresentada neste trabalho ocorreu com os demais avaliadores em um prazo de 8 (oito) dias, iniciando-se no dia 11/01/2023 e terminando no dia 18/01/2023.

6.2. Resultados e Discussão

Todas as imagens desse trabalho (ferramenta e resultados da avaliação), o questionário aplicado e roteiro de avaliação utilizado estão disponíveis em um repositório público². As nove perguntas do questionário são relacionadas a abordagem proposta e implementada na ferramenta, com perguntas sobre: grau de dificuldade em utilizar a abordagem para análise de evolução, o grau de dificuldade em utilizar a ferramenta para gerar o relatório sobre a evolução, nível de esforço mental para realizar análise de evolução, a abordagem proposta facilita e auxilia na análise de evolução de ECOS, a abordagem proposta é útil, minha interação com a ferramenta na funcionalidade de análise de evolução é clara e compreensível, em relação aos dados, gráficos e tabelas gerados pela ferramenta qual sua

²<https://zenodo.org/record/8199870>

satisfação, a evolução do ECOS já é perceptível apenas com a visualização dos resultados e em relação às métricas para avaliar a evolução qual a sua satisfação. O objetivo das questões sobre a abordagem proposta é captar resultados que validem a abordagem sobre o seu escopo, qualidade de resultados e implementação na ferramenta. A Figura 8 apresenta os resultados das perguntas.

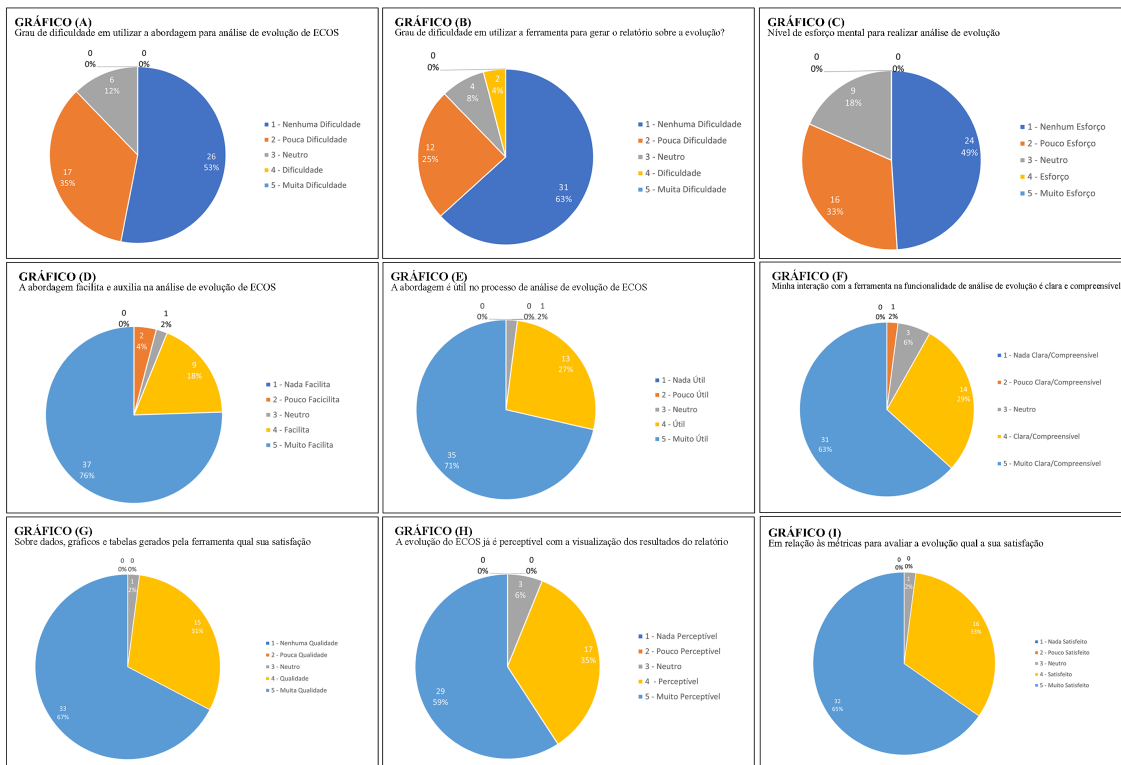


Figura 8. Resultados das nove perguntas sobre a abordagem de análise de evolução de ECOS

Os resultados obtidos na avaliação TAM da abordagem de análise de evolução de ECOS foram obtidos por alunos de graduação e pós-graduação (20%), professores (10%), pesquisadores (14%) e profissionais da indústria de software (54%) teve um bom êxito, trazendo bons resultados para o trabalho e mostrando à comunidade estudos sobre ECOS, modelagem SSN e evolução. Sobre a realização de análise sobre evolução de ECOS, o resultado foi o esperado. A maioria (82%) nunca realizou algum estudo do tipo ou algum contato, um número dos respondentes não soube responder (2%) e alguns responderam ter realizado ou tido contato de alguma forma com evolução de ECOS (16%), um número bem pequeno comparado com o número dos que nunca realizaram/tiveram contato. Isso deixa evidente mais uma vez o problema abordado neste trabalho: falta de recursos, ferramentas e abordagens na literatura que auxiliem em estudos sobre evolução de ECOS.

Os resultados das questões sobre a abordagem de análise de ECOS foram todos positivos. Os respondentes classificaram a abordagem proposta como sendo de fácil utilização, útil em auxiliar na análise de evolução de ECOS, com resultados em gráficos e tabelas nítidos, de fácil compreensão e com qualidade e métricas que evidenciam e auxiliam na medição percentual e numérica sobre a evolução ocorrida no ECOS. Contudo, os resultados apontam que a abordagem proposta é eficaz, útil, de fácil compreensão e

utilização e capaz de analisar e demonstrar a evolução de um ECOS a partir de modelos SSN.

7. Entrevista com Profissional da Indústria

A entrevista foi realizada com um profissional da indústria de software que trabalha atualmente na manutenção do software SIPPA (Sistemas de Presenças e Planos de Aula). O profissional participante é servidor público da UFC *Campus* Quixadá, atuando na área de análise e desenvolvimento de sistemas do Núcleo de Tecnologia da Informação (NTIC) da UFC, e é responsável por manter alguns sistemas utilizados no *campus* um deles sendo o SIPPA.

A entrevista guiada ocorreu em 17/01/2023, com duração de 35 minutos, de forma remota por meio da aplicação de videoconferência *Google Meet*. As perguntas da entrevista foram divididas em 3 (três) seções: perguntas demográficas, perguntas sobre o conhecimento em ECOS e notação SSN, e perguntas ligadas diretamente ao SIPPA e seu modelo SSN.

A Tabela 4 apresenta os resultados para cada uma das perguntas feitas na condução da entrevista guiada com profissional da indústria de software sobre o ECOS SIPPA. A pergunta sobre o nome do participante foi omitida na apresentação dos resultados para preservar a identidade do mesmo.

Tabela 4. Perguntas e respostas da avaliação do ECOS SIPPA

Pergunta	Resposta
Perguntas demográficas	
QD1 - Qual sua idade?	27 anos
QD2 - Grau de instrução?	Ensino superior completo
QD3 - Sua ocupação?	Analista de Tecnologia da Informação
QD4 - Quantos anos de experiência?	7 anos
QD5 - Qual seu papel/história no SIPPA?	A primeira vez utilizei o sistema SIPPA ainda como aluno de graduação, quando cursei engenharia de software na UFC Quixadá. Atualmente auxilio a equipe de TI na manutenção do SIPPA e de outros sistemas utilizados na UFC Quixadá. Mais recentemente forneci ajuda à equipe de TI no sentido de corrigir alguns bugs e configurar o SIPPA em um novo ambiente para produção.
Perguntas sobre ECOS e SSN	
QECOS1 - Você conhece o termo ECOS ou conheceu agora na participação desta pesquisa?	Sim, já conhecia o termo e o conceito de ECOS mas ainda não havia tido contato com informações mais aprofundadas sobre o tema como tive participando desta entrevista.
QECOS2 - Você conhece o termo Software Supply Network (SSN) ou conheceu agora na participação desta pesquisa?	Eu particularmente não conhecia o termo em si nem tampouco as definições da notação, entretanto já havia visto de forma esporádica alguns diagramas utilizando a notação SSN.
Perguntas sobre o ECOS SIPPA	
QSIPPA1 - É útil o modelo SSN para o ECOS SIPPA?	A notação SSN cumpriu o seu objetivo pois conseguiu representar com clareza e exatidão os elementos envolvidos no ECOS SIPPA, sendo assim, eu acredito que pelo fato de a notação funcionar adequadamente, o modelo SSN do ECOS SIPPA é sim útil
QSIPPA2 - A notação SSN ajuda na compreensão do ECOS do SIPPA?	Ao meu ver a notação SSN consegue expressar de forma exata, clara e minimalista o ECOS SIPPA o que facilita o entendimento. Vale ressaltar que em um sistema com muitos elementos como no SIPPA é importante ter uma visão dessas para facilitar o processo de manutenção uma vez que é possível mapear (pelo menos em alto nível) os impactos das mudanças.
QSIPPA3 - O modelo condiz com o software SIPPA?	Apesar de eu não trabalhar há muito tempo com manutenção do SIPPA em si, eu acredito particularmente que o modelo SSN representa com bastante exatidão e clareza o ecossistema de software do SIPPA
QSIPPA4 - Você sentiu falta de algo no modelo?	A única coisa que eu senti falta foi a modelagem do relacionamento entre a instância web e mobile do SIPPA. Como não conheço profundamente as regras da SSN uma coisa que poderia ser feita é destacar a API SIPPA no lado do fornecedor no relacionamento que traz o produto P:14
QSIPPA5 - Na sua opinião o modelo poderia ser usado para quê?	O modelo pode ser utilizado para facilitar a compreensão de softwares nos quais a quantidade de elementos/relacionamentos o torna complexo. Mas falando em termos mais práticos eu acredito que o modelo facilita a compreensão do sistema, por exemplo, para novos integrantes da equipe de desenvolvimento e que nunca tiveram contato com o sistema, para clientes interessados em adquirir o software, para os responsáveis por implementar manutenções preventivas ou corretivas, etc
QSIPPA6 - Em que o modelo auxilia em relação a tecnologias, usuários e serviços?	Através do modelo é possível prever os recursos (humanos, físicos e tecnológicos) necessários para a operação e manutenção de um ECOS, e visualizar o impacto da evolução do SIPPA em relação aos fornecedores de tecnologias e serviços, usuários e equipe de manutenção

Os resultados obtidos com a entrevista apontam que o modelo do ECOS SIPPA apresentado neste trabalho é útil e consegue representar com clareza e exatidão cada um

dos elementos presentes no ECOS SIPPA de acordo com a visão tanto do autor como a validação do modelo por parte do profissional entrevistado. O modelo auxilia na tomada de decisão da equipe de manutenção do SIPPA, pois através do modelo pode-se perceber os relacionamentos entre os atores e visualizar de forma geral quais os impactos o SIPPA sofre com a adição ou remoção de alguns atores e artefatos.

8. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou uma abordagem de análise de evolução de ECOS a partir de modelos SSN. A abordagem utiliza dados, valores absolutos, valores percentuais, médias, variações e métricas estatísticas sobre o modelo SSN dos ECOS, possibilitando uma visão geral sobre as evoluções ao longo do tempo dentro do ciclo de vida do ECOS e ou a evolução sobre as percepções de modelagem de diferentes autores. A abordagem proposta foi avaliada por meio de uma avaliação TAM. Participaram da avaliação 49 pessoas. Os respondentes realizaram um experimento para analisar a evolução de um ECOS por meio da abordagem implementada na ferramenta seguindo um roteiro para norteá-los e em seguida responderam o questionário de avaliação.

A proposta deste trabalho, por meio da modelagem SSN, visa amenizar a lacuna da falta de apoio a estudos sobre evolução de ECOS, trazendo uma solução conceitual e prática implementada na ferramenta *ECOS Modeling*, capaz de realizar a partir de modelos SSN de ECOS uma análise da evolução do mesmo gerando resultados em valores absolutos, média, percentual e variações entre versões de modelos do ECOS. Uma limitação desta pesquisa foi a avaliação executada com poucos participantes pesquisadores envolvidos na pesquisa diretamente relacionada com ECOS e ES, com mais profissionais da indústria de software e com mais professores.

Como trabalhos futuros, pretende-se estender e formalizar a abordagem proposta para se tornar uma metodologia/processo de análise de evolução de ECOS com passos mais detalhados e resultados mais abrangentes e mais complexos em relação aos impactos da evolução do ECOS com foco na saúde, qualidade e ciclo de vida.

Referências

- Bosch, J. (2009). **From software product lines to software ecosystems**. In 2009 13TH INTERNATIONAL SOFTWARE PRODUCT LINE CONFERENCE, volume 9, pages 111–119.
- Boucharas, V., Jansen, S., and Brinkkemper, S. (2009). Formalizing software ecosystem modeling. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Open Component Ecosystems*, IWOCE '09, page 41–50, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Che, M. and Perry, D. E. (2014). Architectural design decisions in open software development: a transition to software ecosystems. In *2014 23rd Australian Software Engineering Conference*, pages 58–61. IEEE.
- Costa, G., Silva, F., Santos, R., Werner, C., and Oliveira, T. (2013). From applications to a software ecosystem platform: An exploratory study. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems*, MEDES '13, pages 9–16, New York, NY, USA. ACM.

- Coutinho, E. F., Santos, I., and Bezerra, C. I. M. (2017a). A software ecosystem for a virtual learning environment: Solar seco. In *Proceedings of the Joint 5th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 11th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems, JSOS '17*, page 41–47. IEEE Press.
- Coutinho, E. F., Santos, I., Moreira, L. O., and Bezerra, C. I. M. (2019). A report on the teaching of software ecosystems in software engineering discipline. In *Proceedings of the XXXIII Brazilian Symposium on Software Engineering, SBES 2019*, pages 130–139, New York, NY, USA. ACM.
- Coutinho, E. F., Viana, D., and dos Santos, R. P. (2017b). An exploratory study on the need for modeling software ecosystems: The case of solar seco. In *Proceedings of the 9th International Workshop on Modelling in Software Engineering, MISE '17*, page 47–53. IEEE Press.
- Cusumano, M. A. (2004). **The business of software:** what every manager, programmer, and entrepreneur must know to thrive and survive in good times and bad. Simon and Schuster.
- Graaf, B. (2007). Model-driven evolution of software architectures. In *11th European Conference on Software Maintenance and Reengineering (CSMR'07)*, pages 357–360. IEEE.
- Jansen, S., Brinkkemper, S., and Finkelstein, A. (2007). Providing transparency in the business of software: a modeling technique for software supply networks. In *Working Conference on Virtual Enterprises*, pages 677–686. Springer.
- Jansen, S., Brinkkemper, S., and Finkelstein, A. (2009). Business network management as a survival strategy: A tale of two software ecosystems. IWSECO@ ICSR, 2009.
- Manikas, K. and Hansen, K. M. (2013). Software ecosystems—a systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 86(5):1294–1306.
- Massanori, D., Cafeo, B. B. P., Wiese, I., and Fontão, A. (2020). Death of a software ecosystem: A developer relations (devrel) perspective. In *Proceedings of the 34th Brazilian Symposium on Software Engineering, SBES '20*, page 399–404, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Mazrae, P. R. (2021). Predictive modelling of socio-technical health in evolving software packaging ecosystems.
- Pinheiro, F. V. d. S., Coutinho, E. F., Santos, I., and Bezerra, C. I. M. (2022). A tool for supporting the teaching and modeling of software ecosystems using ssn notation. *Journal on Interactive Systems*, 13(1):192–204.
- Pontes, D. P. N. and Arakaki, R. (2011). Evolução de software baseada em avaliação de arquitetura de software. In *XVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*.
- Weiblen, T. and Chesbrough, H. W. (2015). Engaging with startups to enhance corporate innovation. *California management review*, 57(2):66–90.
- Williamson, P. J. and De Meyer, A. (2012). Ecosystem advantage: How to successfully harness the power of partners. *California management review*, 55(1):24–46.