

Uma Abordagem Baseada em Modelos SSN para Análise da Saúde e Qualidade de Ecossistemas de Software

**André Luís Carvalho da Silva², Francisco Victor da Silva Pinheiro²
Emanuel Ferreira Coutinho^{1,2}**

¹Programa de Pós-Graduação em Computação (PCOMP)

²Universidade Federal do Ceará (UFC) – Quixadá – CE – Brasil

andreluis90@alu.ufc.br

{victorpinheiro, emanuel.coutinho}@ufc.br

Resumo. *Este trabalho propõe uma abordagem baseada em modelos Software Supply Network (SSN) para a análise da saúde e qualidade de Ecossistemas de Software (ECOS). A proposta busca preencher lacunas na literatura, fornecendo um processo estruturado que abrange desde a identificação da necessidade de análise até a compilação de resultados. A abordagem inclui a modelagem SSN, definição de indicadores de qualidade e aplicação de análises estatísticas e qualitativas. Como um estudo emergente, espera-se que os resultados contribuam para o desenvolvimento de métodos eficazes para avaliar e aprimorar a sustentabilidade e resiliência de ECOS.*

Abstract. *This research proposes an approach based on Software Supply Network (SSN) models to analyze the health and quality of Software Ecosystems (SECO). The proposal aims to address gaps in the literature by providing a structured process, from identifying the need for analysis to compiling results. The approach includes SSN modeling, defining quality indicators, and applying statistical and qualitative analyses. As an emerging study, the expected outcomes contribute to developing effective methods for evaluating and improving the sustainability and resilience of SECO.*

1. Introdução

No cenário atual, as indústrias passaram a compreender que não atuam isoladamente na criação e excelência de produtos, mas sim como parte de um complexo Ecossistema de Software (ECOS), formado por diversos atores e componentes que colaboram para fornecer produtos e serviços de software [Jansen 2020, Pinheiro and Coutinho 2024]. No entanto, a análise da saúde e qualidade de ECOS ainda é um desafio, devido à escassez de trabalhos sobre metodologias, técnicas e modelos adequados para essa avaliação [Souza et al. 2018].

A área de estudos em ECOS é relativamente nova e emergente, apresentando lacunas significativas, especialmente no que diz respeito à avaliação da saúde e qualidade desses ecossistemas [Pinheiro et al. 2024, Pinheiro et al. 2025]. A literatura, embora traga algumas definições e abordagens [Coutinho et al. 2019, Souza et al. 2018], ainda carece de modelos consolidados para compreender aspectos essenciais, como resiliência, diversidade e eficiência dos ECOS.

Além disso, medir a saúde de um ECOS é um desafio contínuo, pois suas características evoluem ao longo do tempo, impactando diretamente sua qualidade [Coutinho et al. 2017, Pinheiro et al. 2022]. A ausência de pesquisas e ferramentas adequadas para essa avaliação limita a adoção de boas práticas e dificulta a criação de modelos que integrem diferentes atores de forma sustentável [Manikas and Hansen 2013].

Diante desse cenário, este trabalho aborda a falta de pesquisas e ferramentas para a análise da saúde e qualidade de ECOS, destacando a necessidade de novas abordagens metodológicas. Busca-se preencher essa lacuna e oferecer subsídios para que a comunidade possa avaliar e melhorar a qualidade de ECOS de maneira estruturada e eficaz. O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma abordagem para a análise da saúde e qualidade de ECOS, utilizando modelos SSN como base para avaliar dependências e apoiar estudos e pesquisas na área, com foco na gestão e evolução desses ecossistemas.

2. Referencial Teórico

2.1. Ecossistemas de Software

A literatura apresenta várias definições para ECOS, [Coutinho et al. 2019] dizem que ECOS é uma metáfora na Engenharia de Software - (ES) muito utilizada para dinâmicas SSN, centradas em uma plataforma de software. De acordo com [Souza et al. 2018], ECOS abrangem diferentes atores com funções complementares, promovendo eficiência e resiliência. [Bosch 2009] destaca que ECOS emergem quando empresas expandem suas plataformas para incluir desenvolvedores externos e enfatizam as interações complexas e cooperativas entre os participantes. Além disso, [Johnson et al. 2020] apontam a flexibilidade e a capacidade de inovação como características fundamentais, sustentadas por modelos de parceria que governam esses relacionamentos [Belo and Alves 2024].

2.2. Software Supply Network - SSN

Segundo [Jansen et al. 2007] SSN são redes colaborativas de organizações interconectadas que fornecem produtos e serviços de software, diferenciando-se das redes tradicionais por lidar com um produto maleável e de manutenção contínua o software. Os modelos SSN dividem-se em dois contextos: o de produto, que descreve sistemas e componentes necessários para operar serviços, abrangendo serviços de caixa branca, caixa preta e componentes básicos de hardware e software; e a rede de fornecimento, que mapeia participantes, conexões e fluxos de produtos e informações, detalhando itens como requisitos, designs, componentes, produtos finais, sistemas e serviços. Esses fluxos permitem identificar dependências e oportunidades, otimizando a compreensão da dinâmica e das responsabilidades na rede. A Figura 1 exibe os elementos utilizados na notação SSN para modelagem de um ECOS.

2.3. Saúde e Qualidade de ECOS

A saúde e a qualidade de um ECOS são fundamentais para sua integridade, sustentabilidade e evolução ao longo do tempo [Souza et al. 2018]. A saúde de um ecossistema depende de sua resiliência a mudanças e rupturas, equilíbrio entre inovação e eficiência, e colaboração entre atores-chave. Já a qualidade, é necessário que seja avaliada com base em normas como a ISO/IEC 25010, considerando funcionalidade, usabilidade e manutenibilidade. Indicadores como sustentabilidade, diversidade, produtividade, robustez e criação de nicho ajudam a identificar fragilidades e a planejar melhorias [Carvalho et al. 2017, Santos et al. 2014]. No entanto, desafios persistem devido à

Empresa de Interesse	Empresa de Interesse: Distribui o produto no modelo comercial definido para o ambiente. Pode ser o produto em si.
Fornecedor	Fornecedor: Fornece um ou mais produtos ou serviços necessários.
Cliente	Cliente: Elemento que direta ou indiretamente, adquire ou utiliza o produto.
Intermediário	Intermediário: Atores que atuam como intermediários entre dois elementos. Ex: distribuidores, revendedores, etc.
Cliente do Cliente	Cliente do Cliente: Um cliente pode ter seus próprios clientes com um produto ou serviço direto ou indiretamente da empresa de interesse. Ex: suporte ao produto, atualizações, etc.
Aggregador	Aggregador: Empresas, produtos ou serviços que operam entre dois agentes para agregar valor a um produto ou serviço. Também pode distribuí-lo ou revendê-lo.
X.Y	Relacionamento Comercial: Representa um artefato ou fluxo de serviço de um ator para outro. Pode ser um dado, um software, dinheiro, serviços, etc.
_____	Fluxo: Conecta dois atores. Um relacionamento pode ser complexo, constituindo muitos fluxos de direções arbitrárias.

Figura 1. Notação SSN [Boucharas et al. 2009] e extensão de [Costa et al. 2013]

falta de gestão centralizada e à constante evolução dos ECOS, exigindo práticas colaborativas e governança eficaz para promover inovação e confiança entre os participantes [Mens et al. 2017].

3. Trabalhos Relacionados

O trabalho de Pinheiro and Coutinho (2024) utiliza a notação Software SSN para analisar a evolução de ECOS, modelando suas interações ao longo do tempo. A abordagem é implementada na ferramenta ECOS *Modeling*, permitindo visualizar mudanças nos atores e nas conexões do ecossistema. A principal semelhança com este trabalho é a aplicação da modelagem SSN para capturar dinâmicas e gerar métricas qualitativas e quantitativas. No entanto, a pesquisa foca na evolução dos ecossistemas, enquanto a proposta deste trabalho concentra-se na avaliação da saúde e qualidade dos ECOS, buscando consolidar métricas mais abrangentes para sua sustentabilidade.

O estudo de Silva et al. (2021) investiga a saúde do ECOS SOLAR, analisando aspectos como robustez, produtividade e criação de nicho. Os autores demonstram que a capacidade de inovação e adaptação a mudanças tecnológicas são fatores essenciais para garantir a sustentabilidade do ecossistema. Essa pesquisa complementa a proposta deste trabalho ao fornecer parâmetros relevantes para a análise da qualidade de ECOS. No entanto, enquanto o trabalho foca exclusivamente no ECOS SOLAR, o presente trabalho busca uma abordagem mais genérica e aplicável a diversos ecossistemas, permitindo comparações entre diferentes contextos e promovendo um modelo mais flexível para avaliação da saúde dos ECOS.

Schueller and Wachs (2024) propõem um modelo para avaliar riscos interconectados em ecossistemas *Open Source Software* (OSS), combinando aspectos sociais e técnicos. O estudo examina a influência de desenvolvedores-chave e a interdependência entre bibliotecas, demonstrando como falhas sistêmicas podem impactar a resiliência do ECOS. Essa abordagem é relevante para este trabalho, pois reforça a necessidade de considerar múltiplas dimensões na avaliação da saúde dos ECOS. No entanto, a pesquisa de [Schueller and Wachs 2024] se restringe a ecossistemas *open source*, enquanto este trabalho propõe um modelo mais abrangente, capaz de avaliar tanto ecossistemas proprietários quanto de código aberto.

Evertse et al. (2021) analisam o colapso de quatro ECOS – *BlackBerry OS*, *Windows Phone*, *Symbian* e *Palm OS* – identificando fatores que levaram à sua falha, como falta de inovação, subestimação de concorrentes e má gestão de parcerias. O estudo destaca a importância de estratégias para garantir a sustentabilidade dos ECOS, fornecendo recomendações para evitar erros comuns. Esse trabalho se alinha à proposta deste estudo

ao enfatizar a necessidade de monitoramento contínuo e gestão estratégica de ecossistemas. No entanto, enquanto o trabalho analisa ecossistemas que falharam, este trabalho busca criar métricas e ferramentas para avaliar a saúde de ECOS ativos, permitindo prevenir riscos antes que levem à descontinuidade.

A Tabela 1 compara os trabalhos relacionados com o proposto por meio de aspectos identificados entre os trabalhos apresentados nesta Seção. Os critérios foram selecionados com base em características relevantes identificadas nos artigos, como foco em modelagem de ECOS, análise de robustez e outros aspectos pertinentes ao domínio.

Tabela 1. Comparação entre os trabalhos relacionados e o trabalho proposto.

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

4. Abordagem para Análise da Saúde e Qualidade de ECOS

A análise da saúde e qualidade de ECOS é realizada por meio de um processo estruturado em sete etapas: A Figura 2 apresenta o fluxo da abordagem proposta.

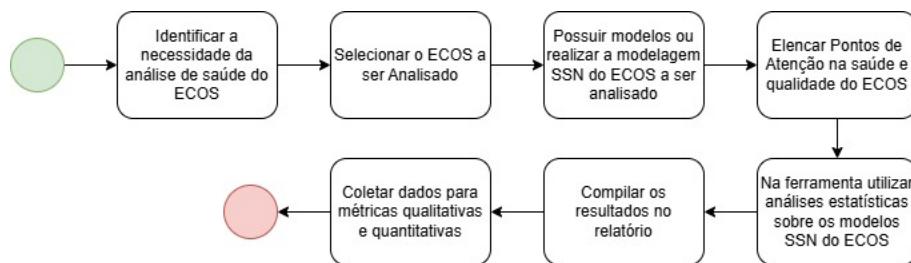


Figura 2. Abordagem para a análise da saúde e qualidade de ECOS.

- **Identificar a necessidade da análise de saúde do ECOS:** A primeira etapa consiste em identificar a necessidade de avaliar a saúde e qualidade de um ECOS. Essa análise é justificada por fatores como mudanças estruturais significativas, indícios de degradação da qualidade ou instabilidade, além da necessidade de apoio à tomada de decisões sobre sua evolução. Critérios preexistentes, como histórico de funcionamento, conectividade entre componentes e taxa de falhas, também podem indicar a importância da avaliação. Essa identificação inicial é essencial para definir o escopo e orientar o planejamento da análise.
- **Selecionar o ECOS a ser Analisado:** Nesta etapa, realiza-se a seleção do ECOS a ser analisado, podendo ser um sistema ativo ou descontinuado. A escolha deve considerar a disponibilidade de informações e a relevância do ECOS para o estudo, permitindo a identificação de fatores que influenciam sua evolução, estabilidade ou descontinuidade. A análise de ecossistemas descontinuados pode fornecer dados sobre riscos e desafios que podem impactar outros ECOS, auxiliando na identificação de padrões e na proposição de estratégias para melhoria da saúde e qualidade do ecossistema analisado.

- **Possuir modelos SSN do ECOS a ser analisado:** É essencial possuir modelos SSN atualizados do ECOS para garantir uma análise precisa. Caso existam, devem ser revisados para validar sua consistência; se não, novos modelos devem ser criados. A atualização contínua assegura que mudanças no ecossistema sejam refletidas corretamente, evitando distorções na análise.
- **Elencar Pontos de Atenção na saúde e qualidade do ECOS:** Nesta etapa, são definidos os principais fatores para avaliar a saúde e qualidade do ECOS, como conectividade, dependência entre componentes, estabilidade estrutural e identificação de pontos críticos. Esses indicadores permitem medir a robustez do sistema, prever possíveis problemas e orientar melhorias para garantir sua sustentabilidade ao longo do tempo.
- **Na ferramenta utilizar análises estatísticas sobre os modelos SSN do ECOS:** Nesta etapa, utilizam-se análises estatísticas sobre os modelos SSN do ECOS para obter dados quantitativos na ferramenta ECOS *Modeling*. Essas análises fornecem informações objetivas e comparáveis, auxiliando na identificação de padrões, na tomada de decisões e na definição de estratégias para aprimorar a saúde e qualidade do ecossistema.
- **Coletar dados para métricas qualitativas e quantitativas:** Nesta etapa, são coletadas métricas qualitativas e quantitativas para complementar a avaliação do ECOS. As métricas quantitativas fornecem dados numéricos objetivos, como interações entre componentes e taxas de erro, enquanto as qualitativas oferecem uma análise interpretativa. A combinação dessas métricas garante uma avaliação mais completa e estruturada.
- **Compilar os resultados no relatório:** Nesta etapa, os resultados são organizados em um relatório final, incluindo análises estatísticas, métricas qualitativas e quantitativas, além da identificação de pontos fortes e fracos do ECOS. Esse documento auxilia na formulação de recomendações e melhorias, além de servir como registro para comparações futuras e monitoramento da evolução do ecossistema.

5. Relação com Sistemas de Informação

A abordagem proposta para a análise da saúde e qualidade de ECOS está fortemente ligada à área de Sistemas de Informação, pois envolve a modelagem e gestão de ecossistemas complexos que integram diversos atores, tecnologias e processos. A modelagem baseada em SSN permite visualizar as interdependências entre componentes do ECOS, facilitando a integração entre áreas técnicas e organizacionais. Isso possibilita uma análise mais estruturada da interoperabilidade entre sistemas, promovendo um ambiente colaborativo e garantindo que a comunicação entre os elementos do ecossistema ocorra de forma eficiente e segura. Além disso, a abordagem auxilia no mapeamento de relações entre diferentes papéis, como desenvolvedores, fornecedores e clientes, proporcionando uma visão estratégica sobre as interações dentro do ECOS e seus impactos na sua evolução e sustentabilidade.

Outro aspecto relevante é a capacidade da abordagem de apoiar a gestão de mudanças e inovação contínua dentro dos ecossistemas. A análise da saúde e qualidade do ECOS permite identificar pontos críticos, prever possíveis falhas e sugerir melhorias para garantir sua sustentabilidade e resiliência. Isso se reflete na adaptação a novas demandas do mercado, no aprimoramento da plataforma central e na criação de um ambiente

mais dinâmico e inovador. Além disso, ao fornecer métricas quantitativas e qualitativas, a abordagem facilita a tomada de decisões estratégicas, ajudando a otimizar o desempenho e a eficiência do ecossistema ao longo do tempo. Dessa forma, a proposta contribui diretamente para a evolução dos Sistemas de Informação, promovendo um ecossistema mais robusto e alinhado às necessidades tecnológicas e organizacionais.

6. Conclusão

Este trabalho apresenta uma proposta emergente baseada SSN para a análise da saúde e qualidade de ECOS, integrando conceitos de Sistemas de Informação para oferecer uma visão estruturada dos fatores críticos que influenciam a resiliência e sustentabilidade desses ecossistemas. A abordagem proposta, composta por sete etapas – desde a identificação da necessidade de análise até a compilação dos resultados – visa preencher lacunas na literatura, possibilitando a avaliação detalhada e o monitoramento contínuo dos ECOS por meio de métricas quantitativas e qualitativas.

Ressalta-se que este trabalho está em andamento, e os próximos passos envolverão a validação prática da abordagem em cenários reais, a fim de ajustar e aprimorar os métodos propostos. Espera-se que os resultados futuros contribuam para o desenvolvimento de ferramentas e metodologias robustas que apoiem a gestão e evolução sustentável dos ECOSs, consolidando este campo de estudo emergente e proporcionando subsídios para pesquisas futuras.

Referências

- Belo, I. and Alves, C. (2024). Strategic patterns to foster the evolution of emerging software ecosystems. *Journal of Software: Evolution and Process*, page e2747.
- 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*, pages 41–50.
- Carvalho, I., Campos, F., Braga, R., David, J. M. N., Stroelle, V., and Araújo, M. A. (2017). Heal me-an architecture for health software ecosystem evaluation. In *2017 IEEE/ACM 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)*, pages 59–65. 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*.
- Coutinho, E. F., Santos, I., Moreira, L. O., and Bezerra, C. I. (2019). A report on the teaching of software ecosystems in software engineering discipline. In *Proceedings of the XXXIII Brazilian Symposium on Software Engineering*, pages 130–139.
- Coutinho, E. F., Viana, D., and Dos Santos, R. P. (2017). An exploratory study on the need for modeling software ecosystems: The case of solar seco. In *2017 IEEE/ACM 9th International Workshop on Modelling in Software Engineering (MiSE)*, pages 47–53. IEEE.

- Evertse, R., Lencz, A., Šinik, T., Jansen, S., and Soussi, L. (2021). 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, June 14–18, 2021, Revised Selected Papers 22*, pages 96–105. Springer.
- Jansen, S. (2020). A focus area maturity model for software ecosystem governance. *Information and Software Technology*, 118:106219.
- 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.
- Johnson, D., Tizard, J., Damian, D., Blincoe, K., and Clear, T. (2020). Open crowdre challenges in software ecosystems. In *2020 4th international workshop on crowd-based requirements engineering (CrowdRE)*, pages 1–4. IEEE.
- Manikas, K. and Hansen, K. M. (2013). Software ecosystems—a systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 86(5):1294–1306.
- Mens, T., Adams, B., and Marsan, J. (2017). Towards an interdisciplinary, socio-technical analysis of software ecosystem health. *arXiv preprint arXiv:1711.04532*.
- Pinheiro, F., Coutinho, E., Lima, R., Silva, M., Bezerra, C., and Andrade, R. (2025). Ecos modeling: A modeling tool, repository for models and evolution analysis of software ecosystems. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pages 369–378, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Pinheiro, F. V. and Coutinho, E. (2024). Uma abordagem baseada em rede de fornecimento de software para análise da evolução de ecossistemas de software. In *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pages 138–153, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Pinheiro, F. V., Coutinho, E., Silva, M. E., and Bezerra, C. (2024). A systematic mapping of health, quality, evolution, simulation and modeling in software ecosystems. In *Proceedings of the 20th Brazilian Symposium on Information Systems*, pages 1–10.
- 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.
- Santos, R., Valença, G., Viana, D., Estácio, B., Fontão, A., Marczak, S., Werner, C., Alves, C., Conte, T., and Prikladnicki, R. (2014). Qualidade em ecossistemas de software: Desafios e oportunidades de pesquisa. In *Proceedings of VIII Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems*, pages 41–44.
- Schueller, W. and Wachs, J. (2024). Modeling interconnected social and technical risks in open source software ecosystems. *Collective Intelligence*, 3(1):26339137241231912.
- Silva, F. M. A., da Silva Pinheiro, F. V., and Coutinho, E. F. (2021). Um estudo preliminar sobre a saúde de ecossistemas de software. *Revista Sistemas e Mídias Digitais (RSMD)*, 6(1).
- Souza, L. S., Rodríguez, G., and Rocha, F. G. (2018). Gestão da qualidade em ecossistemas de software: Um mapeamento sistemático da literatura.