

DOI: 10.5748/20CONTECSI/PSE/ESD/7172

eLocator: e207172

IMPLEMENTATION OF THE ENSURING QUALITY CAPABILITY AREA OF CMMI 20: AN ANALYSIS OF BIBLIOMETRIC DATA FROM A SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE; IMPLEMENTAÇÃO DA ÁREA DE CAPACIDADE ENSURING QUALITY DO CMMI 20: UMA ANÁLISE DOS DADOS BIBLIOMÉTRICOS A PARTI

Larissa De Paula Serrão Garcia – <https://orcid.org/0009-0006-1675-9179>

Programa De Pós-Graduação Em Ciência Da Computação (Ppgcc) - Universidade Federal Do Pará (Ufpa)

Sandro Ronaldo Bezerra Oliveira – <https://orcid.org/0000-0002-8929-5145>

Programa De Pós-Graduação Em Ciência Da Computação (Ppgcc) - Universidade Federal Do Pará (Ufpa)

IMPLEMENTATION OF THE ENSURING QUALITY CAPABILITY AREA OF CMMI 2.0: AN ANALYSIS OF BIBLIOMETRIC DATA FROM A SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE

ABSTRACT: The software development process is characterized by a series of uncertainties that may arise throughout its execution. These uncertainties cover areas such as planning, scheduling, unforeseen costs and the possibility of delivering an unsatisfactory product. Anticipating all the challenges that may arise during development is a difficult task. CMMI as a reference model presents a structure of practices necessary for the maturity of technology-oriented business, its updated structure in version 2.0 is subdivided cohesively into categories, capabilities and process areas, making reference to the agile aspect accompanied the industry. The objective of this work is to define a systematic literature review protocol to identify how studies are carried out with a focus on ensuring software quality focused on the CMMI version 2.0 model, presenting bibliometric data on the situation of study publications in this context. . In this study, we employ systematic literature review methodology to identify and examine collaboration and cohesion among writers. Consequently, 85 studies related to this area of investigation were found, with the majority of publications being written by Brazilian authors.

Keywords: Implementation, Process, Requirements, Validation, Verification, Peer Review, Protocol, Systematic Literature Review.

IMPLEMENTAÇÃO DA ÁREA DE CAPACIDADE ENSURING QUALITY DO CMMI 2.0: UMA ANÁLISE DOS DADOS BIBLIOMÉTRICOS A PARTIR DE UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

RESUMO: O processo de desenvolvimento de software é caracterizado por uma série de incertezas que podem surgir ao longo de sua execução. Essas incertezas abrangem áreas como o planejamento, o cronograma, os custos imprevistos e a possibilidade de entregar um produto insatisfatório. Antecipar todos os desafios que podem surgir durante o desenvolvimento é uma tarefa árdua. O CMMI como modelo de referência apresenta estrutura de práticas necessárias para o amadurecimento da maturidade do negócio voltado para a tecnologia, sua estrutura atualizada na versão 2.0 subdividi-se de forma coesa em categorias, capacidades e áreas de processo, fazendo referência ao aspecto ágil acompanhado a indústria. O objetivo deste trabalho é definir um protocolo de revisão sistemática da literatura para identificar como são realizados os estudos como foco na garantia da qualidade de software voltadas para o modelo CMMI versão 2.0, apresentando dados bibliométricos sobre a situação das publicações de estudos neste contexto. Neste estudo, empregamos a metodologia de revisão sistemática da literatura para identificar e examinar a colaboração e coesão entre os escritores. Conseqüentemente, foram encontrados 85 estudos relacionados a essa área de investigação, sendo que a maioria das publicações foi escrita por autores brasileiros.

Palavras-chave: Implementação, Processo, Requisitos, Validação, Verificação, Revisão por Pares, Protocolo, Revisão Sistemática da Literatura.

Agradecimentos: Este trabalho pertence ao projeto SPIDER/UFPA (<https://projeto-spider.github.io/>).

1. INTRODUÇÃO

A qualidade de um sistema está intrinsecamente relacionada às suas funcionalidades e à medida em que estas atendem aos requisitos coletados, bem como à reação do usuário diante do que foi entregue. A qualidade de software consiste na garantia de que um produto esteja em conformidade com os requisitos estabelecidos e as necessidades identificadas pelos analistas (PAULA FILHO, 2019).

Durante o processo de desenvolvimento de um produto, a falta de padrões e controle pode comprometer a entrega de um produto de alta qualidade, prejudicando sua capacidade de agregar valor ao público-alvo. Quando falamos de qualidade, também nos referimos à facilidade de mantê-la ao longo do tempo. Os sistemas legados representam um desafio para aqueles que são responsáveis por sua manutenção, uma vez que seu fluxo e funcionalidades precisam estar documentados de forma clara para garantir que a manutenção ocorra sem prejudicar suas operações. No mercado altamente competitivo de hoje, não é viável perder tempo tentando compreender como um sistema funciona sem um manual adequado. Manter um software vai além da simples entrega; muitos sistemas deixam de ser utilizados devido à falta de praticidade ou à dificuldade em oferecer suporte. No conceito de qualidade devemos considerar: a funcionalidade, a confiabilidade, a usabilidade, a eficiência, a manutenibilidade e a portabilidade, além dos aspectos de funcionamento no dia a dia do uso do sistema (DEBASTIANI, 2015).

Os softwares podem ser descontinuados por diversos motivos, como os citados acima, também existe a percepção de que criar um novo sistema é mais fácil do que oferecer suporte a um sistema desconhecido. Produtos de baixa qualidade afetam diretamente a decisão do cliente contratante, uma vez que a busca por soluções simples e eficazes é uma exigência do mercado. A escassez de tecnologias que resolvam problemas que impactam diretamente o desempenho e os lucros das empresas, com soluções práticas e de baixo custo, é um anseio de qualquer cliente contratante. Desenvolver um sistema de alta qualidade sem incorrer em perdas financeiras significativas representa um grande desafio. Por fim, processos são importantes não apenas para as empresas, mas também para todos os envolvidos (VALENTE, 2020).

Existem vários modelos que buscam oferecer soluções práticas para o planejamento, desenvolvimento, entrega e manutenção de sistemas com qualidade, incluindo padrões que simplificam o controle do projeto.

Um desses modelos é o *Capability Maturity Model Integration* (CMMI) na versão 2.0, que estabelece critérios abrangentes para assegurar a qualidade. Dentro deste guia de gerenciamento, encontra-se a Área de Capacidade - Garantindo a Qualidade, que abrange o Desenvolvimento e Gerenciamento de Requisitos, a Garantia de Qualidade de Processo, a Verificação e Validação, bem como a Revisão por Pares.

O objetivo deste trabalho é determinar, a partir da condução de uma revisão sistemática da literatura, como estão sendo conduzidos os estudos com foco no modelo de qualidade CMMI (versão 2.0), enfatizando a garantia da qualidade de software. A partir dessa identificação, fornecer dados bibliométricos sobre os status das publicações nesse contexto. Este trabalho justifica-se por ser uma pesquisa acadêmica que disponibiliza dados bibliométricos consolidados em um protocolo de pesquisa de revisão sistemática da literatura, onde tais dados poderão ser utilizados por pesquisadores em seus trabalhos de forma relevante.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: Seção 2 apresenta a fundamentação teórica; Seção 3 analisa o trabalho relacionado a este estudo; Seção 4 apresenta o protocolo para implementação da RSL; Seção 5 apresenta os resultados bibliométricos desta RSL; e a Seção 6 apresenta as conclusões, contribuições, limitações e pesquisas futuras deste estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na seção de embasamento teórico são introduzidos alguns conceitos essenciais para uma compreensão mais aprofundada deste estudo, incluindo tópicos como engenharia de requisitos, garantia da qualidade, verificação, validação e revisão por pares.

2.1. Processos de Software

Os processos integram um conjunto de métodos e padrões estruturados de atividades que levam à criação de um sistema de software. Esses processos baseiam-se em modelos genéricos e englobam as etapas necessárias para o desenvolvimento de um software de alta qualidade e “tem uma descrição que é mantida, e contribui com produtos de trabalho, medidas e outras informações de melhoria de processos para o patrimônio de processos e organizações” [CMMI10]. Existem processos de software publicados que auxiliam no estudo e aprendizagem para uma organização produtora de software. (PAULA FILHO, W.P., 2019).

Os processos de software geralmente incluem as atividades de:

- Especificação do software: aqui a funcionalidade do software e as restrições a seu funcionamento devem ser definidas. Isso envolve descrever o que o software deve fazer é identificar quaisquer limitações que devem ser respeitadas;
- Projeto e implementação de software: nesta fase o software é desenvolvido para atender às especificações. Isso geralmente envolve a definição da arquitetura geral do sistema e a codificação do programa;
- Validação de software: durante a validação o software é testado para garantir que atenda às demandas do cliente. Isso envolve verificar se o software cumpre seus requisitos e realiza as tarefas necessárias para atender às expectativas do cliente;
- Evolução de software: com o passar do tempo as necessidades dos clientes mudam. Portanto, o software deve ser capaz de evoluir para atender a essas necessidades alteradas. Isso, geralmente, envolve a implementação de novas funcionalidades e a adaptação do software para responder a mudanças no ambiente operacional ou nas demandas dos clientes.

Também dentro das atividades é importante estabelecer responsabilidades da organização. No geral, os processos de software são vitais para a criação de software que atendem às necessidades do cliente e fornecem funcionalidades eficazes e eficientes.

2.2. CMMI 2.0

Capability Maturity Model Integration (CMMI) é uma ferramenta integrada que reúne um conjunto de melhores práticas globais que aprimoram o desempenho dos negócios por meio da criação e *benchmarking* de capacidades essenciais. O CMMI concentra-se no que precisa ser feito para melhorar a lucratividade e alinhar as operações com os objetivos de negócios (CMMI, 2023).

Projetado para ser de fácil compreensão, acessível, flexível e para integração com outras metodologias, como ágil, o CMMI ajuda as organizações a compreender seu nível atual de habilidades e desempenho, além de fornecer diretrizes para melhorar os resultados do negócio (CMMI, 2023).

O modelo CMMI 2.0, lançado em 2018, é um guia criado para ajudar a criar um roteiro para a melhoria contínua de processos centrados em software e descreve métodos para melhorar os processos empresariais. Esta nova versão possui os seguintes conceitos: CMMI

para desenvolvimento, CMMI para serviços e CMMI para gestão de fornecedores, divididos em 25 áreas de prática.

O CMMI V2.0 é um modelo com múltiplas visualizações personalizadas que abordam diferentes contextos de negócios, permitindo que as organizações criem uma visão de modelo que atenda às suas necessidades específicas de melhoria de desempenho.

Possui seis níveis de maturidade de 0 a 5, onde 0 é o início e 5 é o nível mais avançado: Nível 0 — Incompleto, Nível 1 — Inicial, Nível 2 — Gerenciado, Nível 3 — Definido, Nível 4 — Gerenciado Quantitativamente, Nível 5 — Otimização.

Os benefícios que a adoção do CMMI pode trazer incluem: melhoria contínua na qualidade e desempenho; processos melhor estruturados; rápido retorno do investimento em melhoria de desempenho; mais garantia na qualidade dos produtos da empresa; prazos à risca e sem atrasos; redução de retrabalho; satisfação do cliente; redução da rotatividade de profissionais; maior vantagem competitiva no mercado; adoção de *benchmark* para software de qualidade.

2.3. Área de Capacidade *Ensuring Quality* do CMMI 2.0

2.3.1. Desenvolvimento e Gestão de Requisitos

O processo de desenvolvimento e gerenciamento de requisitos espera que sejam definidos, documentados e gerenciados os requisitos levantados. Nesta fase, o analista de requisitos realiza o levantamento das funcionalidades e documenta para que essas informações fiquem disponíveis para o time de desenvolvimento e para o cliente. A documentação produzida servirá de apoio para o time definir suas tarefas e para o cliente identificar se o que ele espera do produto está de acordo com o que está sendo construído (DEBASTIANI, CA, 2015). Definindo cada uma das áreas:

- Desenvolvimento de requisitos de software:

O desenvolvimento de requisitos de software refere-se ao processo de identificação, documentação e análise de requisitos, funcionalidade e limitações do sistema de software a ser desenvolvido. Esta é uma etapa importante no ciclo de vida de desenvolvimento de software, pois constitui a base para todo o trabalho subsequente (FERNANDES, J.M; MACHADO, 2007).

Durante o desenvolvimento de requisitos, os analistas de requisitos interagem com as partes interessadas (clientes, usuários finais, especialistas no domínio etc.) para compreender suas necessidades e traduzi-las em requisitos claros, concisos e inequívocos. Isso envolve a coleta de requisitos funcionais. (o que o sistema deve fazer) e requisitos não funcionais (requisitos de eficiência, segurança, usabilidade, etc.). Os requisitos podem ser expressos em diversos formatos, como documentos de requisitos, diagramas, casos de uso, entre outros.

- Gerenciamento de requisitos de software:

O gerenciamento de pré-requisitos de software envolve as atividades de planejamento, rastreamento e controle de pré-requisitos durante todo o ciclo de vida de desenvolvimento de software. O principal objetivo é garantir que os pré-requisitos sejam administrados de forma eficaz e garantir a sua integridade, rastreabilidade, consistência e compreensão por todas as partes interessadas (FERNANDES, J.M; MACHADO, 2007).

O gerenciamento de requisitos envolve a identificação de mudanças nos requisitos de avaliação de impacto do projeto resolvendo conflitos entre termos e comunicação eficaz com as partes interessadas. O gerenciamento de requisitos também envolve a rastreabilidade dos requisitos, ou seja, a capacidade de rastrear a origem de cada especificação. mudanças ao longo do tempo e sua relação com outros artefatos de software, como design, implementação e teste.

Em resumo, o desenvolvimento de requisitos concentra-se na identificação e documentação dos requisitos do sistema, enquanto o gerenciamento de requisitos trata do planejamento, rastreamento e controle dos requisitos durante todo o ciclo de vida de desenvolvimento de software. Ambas as atividades são fundamentais para o sucesso de um projeto de desenvolvimento de software. Isso garante que o sistema seja desenvolvido de acordo com as necessidades e expectativas das partes interessadas.

2.3.2. Garantia de Qualidade do Processo

No processo de garantia de qualidade é esperado que se possa verificar e permitir a melhoria da qualidade dos processos executados e produtos resultantes.

A garantia da qualidade do processo refere-se às atividades e aos processos implementados para garantir que os processos de desenvolvimento de software sejam executados de forma eficiente, consistente e de acordo com os padrões de qualidade estabelecidos. O objetivo da garantia da qualidade do processo de software é melhorar a qualidade do produto de software resultante e aumentar a eficiência e eficácia do processo de desenvolvimento (ENGHOLM, HJ, 2019).

A garantia da qualidade do processo de software envolve definir, implementar e aplicar políticas, padrões e procedimentos para monitorar, avaliar e melhorar continuamente os processos de desenvolvimento de software. Isso inclui atividades como revisões tecnológicas, auditorias de processos, coleta e análise de mensurações de qualidade, identificação de não conformidades e ações corretivas, e monitoramento do cumprimento dos padrões de qualidade estabelecidos.

Esta abordagem proativa visa prevenir e identificar problemas no processo de desenvolvimento de software antes que afetem negativamente a qualidade do produto final. A garantia da qualidade do processo de software funciona em colaboração com outras disciplinas, como gerenciamento de configuração, teste de software e gerenciamento de projetos, para garantir que os produtos de software sejam desenvolvidos de acordo com os pré-requisitos estabelecidos e os padrões de qualidade definidos pela organização.

2.3.3. Verificação e Validação

No processo de validação e verificação é esperado que sejam homologados os requisitos levantados na fase anterior, é verificado também se a solução apresenta os requisitos levantados e homologados, objetivando aumentar a probabilidade de satisfação do cliente na entrega do produto.

A verificação é uma etapa essencial do desenvolvimento de software, cujo principal objetivo é garantir que o software esteja em conformidade com os requisitos definidos e funcione corretamente. É um processo crítico no ciclo de vida de desenvolvimento, onde são realizadas atividades para verificar se o software está construído corretamente e atende às expectativas estabelecidas. É realizado por meio de atividades sistemáticas e metódicas, que envolvem revisão de documentos, análise de código, execução de testes e avaliação de resultados.

Essas atividades têm como objetivo identificar enganos, defeitos ou inconsistências no software que está sendo desenvolvido. O processo de validação envolve diversas técnicas e abordagens, como revisões formais, auditorias de código, testes unitários, testes de integração, testes de sistema e testes de aceitação. Essas técnicas são postas para garantir que o software seja preciso, completo, eficiente, confiável e atenda às necessidades do usuário (VALENTE, MC, 2020).

A validação, geralmente, ocorre em paralelo com a verificação, que é o processo de avaliação do software para garantir que ele atenda ao contexto e aos pré-requisitos do usuário final.

O processo de verificação de software é uma etapa importante no ciclo de desenvolvimento de software. Seu objetivo é verificar se o software atende aos requisitos estabelecidos e funciona corretamente antes de ser remetido aos usuários finais. O objetivo da auditoria é garantir que o software seja utilizável e atenda às expectativas e necessidades do usuário (ENGHOLM, HJ, 2019).

Durante o processo de validação, o software é testado em condições reais ou simuladas para garantir que funciona conforme pretendido e atende aos pré-requisitos definidos na fase de análise e especificação. Isso pode incluir testes funcionais, teste de performance, teste de usabilidade e outros tipos de testes específicos para o software em questão. A validação consiste também na comparação dos resultados obtidos com as expectativas estabelecidas e na verificação do cumprimento das normas e regulamentos aplicáveis. Também pode incluir a revisão e teste da documentação relacionada ao software, como manuais do usuário e guias de instalação.

2.3.4. Revisão por Pares

No processo de revisão por pares é esperado que colaboradores de mesmo nível e atividades semelhantes possam analisar, revisar e registrar sua percepção sobre o trabalho do outro, reduzindo custos e retrabalho, descobrindo problemas ou defeitos antecipadamente.

A revisão por pares, também conhecida como revisão de código ou revisão colaborativa de código, é um processo no desenvolvimento de software em que um ou mais desenvolvedores revisam o código produzido por outro desenvolvedor. O objetivo principal da revisão por pares é identificar erros, problemas de qualidade, inconsistências ou oportunidades de melhoria no código antes que ele seja integrado ao projeto principal.

Durante o processo de revisão por pares, o desenvolvedor responsável pelo código submete o seu trabalho para revisão pelos seus colegas. Esses revisores analisam o código com um olhar crítico, buscando por possíveis falhas, *bugs*, problemas de desempenho, violações de boas práticas de programação, falta de documentação adequada e outras questões relacionadas à qualidade do software (PAULA FILHO, W.P., 2019).

3. TRABALHOS RELACIONADOS

ALEX FERDINANSYAH & BETTY PURWANDARI (2021) apresentaram um estudo de RSL compilando as experiências de combinação entre CMMI e Desenvolvimento Ágil e identificaram desafios para o processo de implementação colaborativa entre os processos. O trabalho também destaca a extensão de sua compatibilidade. As descobertas indicam que os principais desafios são a falta de conhecimento e experiência relevantes e a cultura do CMMI, do *Agile* ou, às vezes, de ambos.

AYÇA TARHAN & GÖRKEM GIRAY (2017) relataram um estudo de mapeamento sistemático para identificar modelos de avaliação do processo de desenvolvimento de software. Analisaram estudos que abordam: faceta de contribuição, processos de software direcionados, faceta de pesquisa, modelo de melhoria de processo utilizado, modelo de avaliação de processo utilizado, linguagem de representação de ontologia, propósito de uso da ontologia, benefícios qualitativos e quantitativos relatados e desafios enfrentados. Como resultado, sintetizaram um modelo conceitual de suporte baseado em ontologia em avaliação de processos de software.

Ambos os estudos abordam a temática qualidade de software, apresentando estudo voltado para modelos de avaliação e desafios na aplicação de modelo de avaliação em

concomitância de práticas ágeis. Destaca-se o modelo de pesquisa de ALEX FERDINANSYAH & BETTY PURWANDARI (2021) que utilizaram a abordagem PRISMA, enquanto AYÇA TARHAN & GÖRKEM GIRAY (2017) utilizaram o modelo PICO.

No estudo apresentado neste artigo, utilizamos o modelo PICO e com tema voltado para a seleção de estudos que apresentam os métodos e metodologias utilizados para a implementação do modelo de qualidade de software no contexto CMMI, modelo apresentado na pesquisa por modelos de avaliação e como anda os estudos voltados para a pesquisa de processos de qualidade no desenvolvimento de software. Destaca-se o emprego de ambos os temas relacionados na apresentação de dados bibliométricos para a elucidação da área de qualidade do modelo CMMI.

4. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Nesta seção iremos introduzir o procedimento que será utilizado na realização da Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Aqui, fornecemos as diretrizes que devem ser seguidas para garantir a confiabilidade, a possibilidade de auditoria e a reprodutibilidade do processo da RSL.

4.1. Objetivo da RSL e Questões de Pesquisa

A finalidade da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) consiste em estabelecer uma metodologia sistemática e abrangente para identificar, avaliar e resumir de maneira abrangente as evidências disponíveis relacionadas a um específico tema de pesquisa.

As perguntas de pesquisa desempenham um papel fundamental no direcionamento da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), delimitando os aspectos específicos que serão investigados. Essas perguntas estabelecem a base para a seleção dos estudos pertinentes a coleta de dados e a análise dos resultados, buscando proporcionar respostas precisas e fundamentadas às indagações formuladas.

Para formalizar o objetivo desta RSL, optou-se por adotar a abordagem *Goal Question-Metric* (GQM), proposta por Basili (1992). Portanto, o propósito desta RSL é:

1. Analisar (*Analyze*): a implementação dos processos de Desenvolvimento e Gestão de Requisitos, Garantia de Qualidade do Processo, Verificação e Validação e Revisão por Pares na Implementação da Área de capacidade de *Ensuring Quality* do CMMI 2.0;
2. A fim de (*In order to*): identificar e mapear métodos que contribuam para a implementação da capacidade de *Ensuring Quality* do CMMI 2.0;
3. Em relação (*Regarding*): ao uso desses métodos;
4. Do ponto de vista (*From the point of view of*): dos pesquisadores em qualidade de software;
5. No contexto (*In context*): de pesquisas acadêmicas relacionadas à qualidade de software.

Desta forma, apresentamos a seguinte questão de pesquisa (QP):

- Como implementar os processos de desenvolvimento e gestão de requisitos, garantia de qualidade do processo, verificação e validação e revisão por pares na implementação da área de capacidade de *Ensuring Quality* do CMMI 2.0?

Desta forma definimos as seguintes questões secundárias de pesquisa (QSP):

- QSP1: Quais as etapas para a implementação dos processos da capacidade de *Ensuring Quality*? – O objetivo é identificar as etapas necessárias para a implementação dos processos contidos na capacidade de *Ensuring Quality*.

- QSP2: Como os processos da capacidade Ensuring Quality são aplicados? – O objetivo é identificar como esses processos são implementados.

4.2. Método

Com o objetivo de atingir o propósito deste estudo, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). A RSL é um método de pesquisa secundária que se apoia em evidências para identificar, analisar e interpretar de maneira metódica todos os documentos relevantes relacionados a uma pergunta de pesquisa específica. Esse processo é dividido em quatro etapas, adaptadas das referências de (KITCHENHAM E CHARTERS, 2007; PETERSEN et al., 2015). Portanto:

- Fase 1 – Definição da questão de pesquisa e questões secundárias de pesquisa: nesta fase, foi definida uma questão de pesquisa e duas questões secundárias de pesquisa com base no objetivo desta Revisão Sistemática da Literatura (subseção 4.1);
- Fase 2 – Definição do processo de pesquisa: nesta fase a partir das questões de pesquisa e questões secundárias de pesquisa, foi definido um processo replicável para a realização da busca dos estudos nas bases científicas selecionadas (subseção 4.3);
- Fase 3 – Definição dos estudos relevantes para a pesquisa: nesta fase serão selecionados os estudos de acordo com o objetivo desta Revisão Sistemática da Literatura (subseção 4.4);
- Fase 4 – Classificação dos Estudos e Coleta de Dados: nessa fase, a partir das indagações de estudo, estabelece-se uma estratégia para: (i) mapear as informações relevantes dos estudos primários (subseção 4.5.) e (ii) expor os resultados do trabalho.

4.3. Estratégia de busca

A pesquisa foi conduzida de forma automatizada, empregando uma sequência de palavras-chave e seus equivalentes para criar uma expressão de busca. Essas palavras-chave foram selecionadas com base nas perguntas secundárias do estudo, seguindo a estrutura PICOC (*Population, Intervention, Comparison, Outcomes and Context*) proposta por KITCHENHAM e CHARTERS (2007).

Portanto, a expressão de busca foi construída com os termos relacionados a (i) População, (ii) Intervenção, (iii) Contexto, (iv) Resultados. O critério de Comparação não foi incluído, uma vez que esta RSL não tem como foco a comparação dos resultados dos estudos. Os termos utilizados foram os seguintes:

- *Population: cmmi;*
- *Intervention: implementation, process, requirements, validation, verification, peer review;*
- *Outcomes: method, model, practice, methodology;*
- *Context: academic and industrial.*

Dessa forma, chegamos à *string* de busca, a qual está disponível no Quadro 1 para consulta.

Quadro 1 - *String* de busca.

String de busca
(cmmi) AND (implementation OR process) AND (requirements OR validation OR verification OR "peer review") AND (method OR model OR practice OR methodology)

Fonte: Elaboração própria (2023).

A expressão de pesquisa será utilizada nas ferramentas de busca automatizadas existentes na Internet, incluindo o IEEE Xplore (<https://ieeexplore.ieee.org/>) e o ACM DL (<https://dl.acm.org/>), em colaboração com a Universidade Federal do Pará para permitir o acesso gratuito aos pesquisadores.

Para o IEEE Xplore, a expressão de pesquisa foi ajustada conforme demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2 - *String* de busca adaptada para IEEE Xplore.

String de busca adaptada para IEEE Xplore
("All Metadata":cmmi) AND ("All Metadata":implementation OR "All Metadata":process) AND ("All Metadata":requirements OR "All Metadata":validation OR "All Metadata":verification OR "All Metadata":peer review") AND ("All Metadata":method OR "All Metadata":model OR "All Metadata":practice OR "All Metadata":methodology)

Fonte: Elaboração própria (2023).

No caso da ACM DL, a expressão de pesquisa foi modificada de acordo com o que está apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - *String* de busca adaptada para ACM DL.

String de busca adaptada para ACM DL
[All: cmmi] AND [[All: implementation] OR [All: process]] AND [[All: requirements] OR [All: validation] OR [All: verification] OR [All: "peer review"]] AND [[All: method] OR [All: model] OR [All: practice] OR [All: methodology]]

Fonte: Elaboração própria (2023).

4.4. Seleção dos estudos

Durante esta etapa da pesquisa, utilizamos os critérios de inclusão (CI) e exclusão (CE) para selecionar apenas os estudos pertinentes que abordarão nossas perguntas secundárias de pesquisa. Os critérios de inclusão e exclusão estão descritos em detalhes no quadro a seguir (Quadro 4).

Quadro 4 - Critério de seleção dos estudo primários

ID	Critério de Inclusão (CI) ou Critério de Exclusão (CE)
CI1	Publicações que descrevem a Implementação dos processos da <i>ensuring quality</i> no CMMI.
CI2	Publicações que descrevem aplicação e/ou uso dos processos da <i>ensuring quality</i> .
CE1	Estudos duplicados.
CE2	Estudos que não estejam escritos em inglês e/ou português.
CE3	Estudos não disponíveis para download abertamente ou através do IP institucional dos pesquisadores.
CE4	Estudos como relatórios de workshops, pôsteres, apresentações, palestras de palestrantes, livros, teses e dissertações.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Cada estudo foi submetido a um processo de seleção composto por quatro fases distintas: (i) Dois pesquisadores analisaram os títulos e resumos de todos os estudos, aplicando os critérios de exclusão, essa fase foi denominada pré-seleção; (ii) Os mesmos pesquisadores debateram eventuais discrepâncias na aplicação dos critérios de exclusão, buscando chegar a um consenso; (iii) Os pesquisadores examinaram os títulos, resumos e, quando necessário, os textos completos dos estudos previamente selecionados na primeira etapa, aplicando os critérios de inclusão; (iv) Novamente, os pesquisadores discutiram quaisquer discrepâncias na aplicação dos critérios de inclusão com o objetivo de alcançar um consenso.

4.5. Classificação do estudos e extração de dados

Após a fase de seleção, procederemos à categorização dos estudos de acordo com as questões secundárias de pesquisa propostas. O pesquisador coletou dados bibliométricos, incluindo informações sobre os autores, a fonte de pesquisa, a origem geográfica dos autores, o ano de publicação e a filiação universitária dos autores. Em seguida, os estudos selecionados serão lidos na íntegra e as informações necessárias para abordar as questões de pesquisa serão extraídas.

Desta forma, classificaremos os estudos com base em diversos critérios, como as informações a serem coletadas para análises relacionadas à implementação da Qualidade de Software conforme as diretrizes do guia CMMI 2.0, o método de seleção do público-alvo, os instrumentos utilizados para coleta e análise dos dados coletados, bem como a estruturação desses instrumentos.

Por fim, este estudo optou por incluir um total de 34 estudos primários, que se mostraram pertinentes ao tema desta pesquisa, após a aplicação rigorosa dos critérios de seleção, como apresentado no Quadro 5. Esses estudos primários estão catalogados por meio de identificadores (ID), com a abreviação "Estudo Primário (EP)", e estão acessíveis por meio do seguinte link: <https://zenodo.org/uploads/10155528>

Quadro 5 - Seleção dos estudos primários.

Base de Dados	Artigos Retornados	CE1	CE2	CE3	CE4	CI1	CI2
ACM Digital Libary	1403	1366	1359	1345	1086	26	14
IEEE Xplore	91	89	79	74	60	32	20
TOTAL	1494	1455	1439	1420	1147	58	34

Fonte: Elaboração própria (2023).

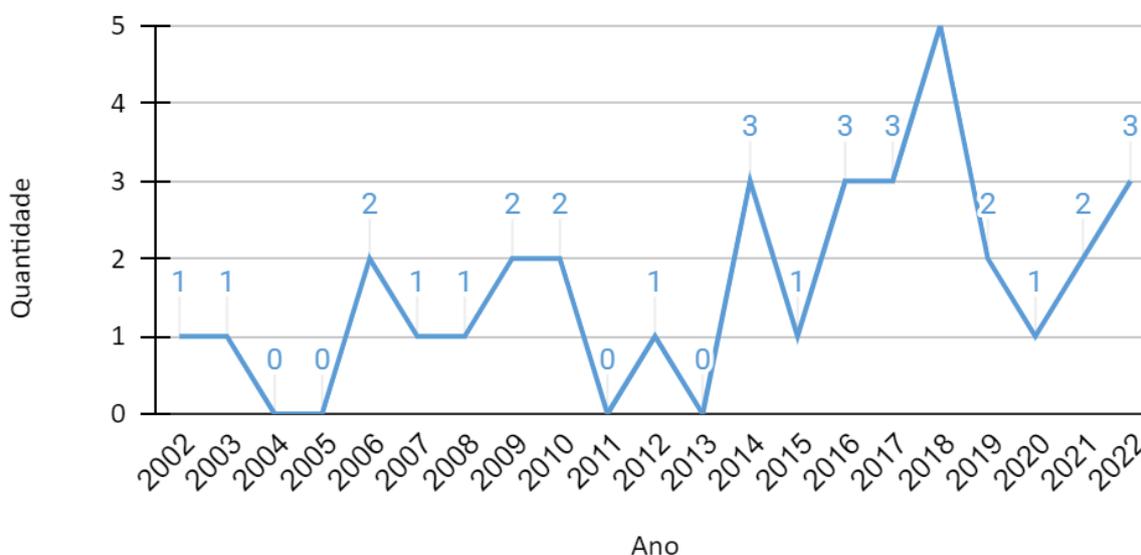
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, os resultados e as análises são expostos como uma maneira de apresentar as informações bibliométricas provenientes dos estudos que foram selecionados.

5.1. Números da Pesquisa

Conforme ilustrado na Figura 1, é evidente a variação no interesse dos pesquisadores no contexto deste estudo, que diz respeito à análise do mapeamento de métodos que contribuem para a implementação da capacidade "Ensuring Quality" do CMMI 2.0. Destacamos um aumento significativo no interesse por publicações nos anos de 2014, 2016, 2017, 2018 e 2023, com uma estabilidade no número de publicações nos anos de 2014, 2016 e 2017. É possível notar que no ano 2018 houve crescimento nas publicações após estabilidade no número de publicações, no entanto ocorreu uma redução significativa no número de estudos nos anos de 2019, 2020 e 2021, sendo que nos dois últimos acreditamos que isso possa ter ocorrido devido ao estado de emergência em saúde pública causado pela pandemia da COVID-19.

Figura 1 - Quantidade de estudos por ano.



Fonte: Elaboração própria (2023).

O Quadro 6 exibe a classificação dos autores que mais publicam neste contexto de pesquisa, no qual podemos observar a presença dos pesquisadores Budiardjo, Eko K. com crescimento em publicações nos últimos anos (2019, 2020 e 2021), e Keshta, Ismail com publicações nos anos 2017, 2018 e 2021. Outro dado interessante é que os autores brasileiros tiveram o maior número de publicações, suas publicações foram nos anos 2012, 2016 e 2018, em 2022 retomou-se o estudo no contexto da pesquisa.

Quadro 6 – Autores que mais publicam.

Autor	Quantidade
Akbar, Muhammad Azeem	1
AlHajahjeh, Tareq	1
Alqadri, Yuki	1
Alshayeb, Mohammad	2
Amaral, Luis Manuel Gonzalez	1
Araki, Keijiro	1
Ardana, I Made Sugi	1

Asencio, Jenny Carolina Robledo	1
Balancieri, Renato	1
Bener, Ayse	1
Berenbach, Brian	1
Bessa, Ana Luíza	1
Borotto, Gail	1
Bosheng, Zhou	1
Budiardjo, Eko K.	3
Chandwani, Manohar	1
Cortés, Mariela I.	1
Daviot, Nicolas	1
de la Vara, Jose Luis	1
de Melo França, Victor J. A. T.	1
de Souza, Vanessa Faria	1
de Vasconcelos, Alexandre M.L.	1
Dong-Seok Oh	1
Ejaz, Reham	1
El-Hassan, Ammar	1
Fabri, José A.	1
Faria, Joao Pascoal	1
Ferdinansyah, Alex	2
Filion, Luc	1
Gagnon, Marc	1
Genaro, Andreia Fatima Sorice	1
Genvigir, Elias C.	1
Guidini Gonçalves, Taisa	1
Güngör, Deniz	1
Hasan, Mahady	1
Huang, Shihong	1
Humaira, Fairuz	1
Iftikhar, Sundas	1
Jacobs, J.C.	1
Joembunthanaphong, Pitiphat	1
Keshta, Ismail	3
Khan, Shoab Ahmed	1
Kolski, Christophe	1
Kuhrmann, Marco	1
Kuru, Yasemin Yiğit	1
Kusakabe, Shigeru	1
L'Erario, Alexandre	1
Le Bel, Jean-Philippe	1

Leal, Gislaine Camila Lapasini	1
Lee, Min-Jae	1
Lemos, Rousiany	1
Li, Desheng	1
Lin, Hsin-Hung	1
Lin, Justin J.Y.	1
Lin, Yung-Sung	1
Loureiro, Geilson	1
Maciel, Rita Suzana Pitangueira	1
Mahatma, Kodrat	1
Marçal de Oliveira, Káthia	1
Mattiello-Francisco, Fátima	1
Mello, Patrícia	1
Metin, Özgün Onat	1
Nazmeen, Mubina	1
Niazi, Mahmood	2
Nie, Peiyao	1
Odeh, Ammar	1
Omori, Yoichi	1
Örgün, Pınar	1
Pastor, Óscar	1
Peng, Liu	1
Permana, Rian	1
Rahman, Aedah Abd	1
Rahman, Labib Bin	1
Richardson, Ita	1
Rocha, Cleilton Lima	1
Rokhman, Mokhammad F.	1
Rouiller, Ana Cristina	1
Sadia, Farzana	1
Saheel, Sabir	1
Sánchez, Juan	1
Sant'Anna, Cláudio	1
Santos, Edison J.	1
Sharma, Meena	1
Silva, Isomar Lima Da	1
Sriharee, Gridaphat	1
Suharjito	1
Tariq, Anum	1
Tilley, Scott	1
Tosun, Ayse	1

Trienekens, J.J.M.	1
Turhan, Burak	1
Weiming, Zhang	1
Wenjie, Luo	1
Wibawa, Adi S.	1
Ximenes, Pablo	1
Xu, Ruzhi	1
Xue, Yunjiao	1
Yilmaz, Murat	1
Zafar, Maryam	1
Zhang, Yuan	1

Fonte: Elaboração própria (2023).

No Quadro 7 são organizadas as instituições acadêmicas e/ou de pesquisa que se destacam como as mais prolíficas neste campo de estudo. Observa-se que aUniversitas Indonesia, tem o maior número de publicações. Nota-se também grande número de instituiçõesbrasileiras que atuam no contexto da pesquisa, um total de sete instituições.

Quadro 7 - Instituições de ensino e/ou pesquisa que mais publicam.

Universidade	Quantidade
Beihang University	1
Bina Nusantara University	1
Boğaziçi University	1
Çankaya University	1
Chaoyang University of Technology	1
Chongqing University	1
Eindhoven University of Technology	1
Federal University of Pernambuco	1
Fudan University	1
HeBei University	1
Huawei R&D Center	1
Independent University	1
Instituto Atlântico	1
Instituto de Tecnologia da Flórida	1
ISC Applied Systems	1
King Fahd University of Petroleum and Minerals	2
King Mongkut's University of Technology North Bangkok	1
Kyushu University	1
LAMIH CNRS UMR	1
National Institute for Space Research—INPE	1
National Research Council	1
National University of Science and Technology (NUST)	1

Nuum Solutions	1
Princess Sumaya University for Technology	1
ReUse Technology Group	1
Shandong University of Finance	1
Siemens Corporate Research	1
Simula Research Laboratory	1
Soongsil University	1
TQMS Co.	1
UECE	1
UFC	1
Universidad Politecnica de Valencia	1
Universidade da Califórnia	1
Universidade Devi Ahilya	1
Universidade do Porto	1
Universidade Federal da Bahia	1
Universidade Federal Tecnológica do Paraná	1
Universitas Indonesia	3
Universiti Kuala Lumpur	1
University of Limerick	1
University of Southern California	1
University of Southern Denmark	1
University Rawalpindi	1

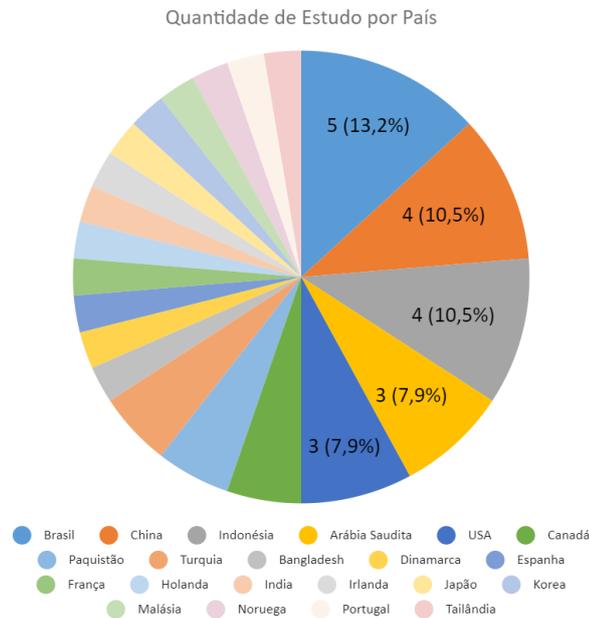
Fonte: Elaboração própria (2023).

No que diz respeito à disseminação de estudos por países (conforme ilustrado na Figura 2 - Países que mais publicam), observa-se a contribuição de 21 nações, abrangendo os continentes: América, Ásia e Europa. Os principais resultados revelam o Brasil como o país com a maior quantidade de publicações, totalizando cinco artigos (13,2%), o que representa uma significativa liderança em relação aos demais países. Em segundo lugar, os países China e Indonésia contribuíram com quatro artigos (10,5%), cada um, seguidos pela Arábia Saudita e USA, cada um com três contribuições (6,3%).

No contexto brasileiro, é importante salientar que as instituições acadêmicas e/ou de pesquisa, são diversificadas, o que reforça a sólida tradição das instituições universitárias brasileiras nesse campo de pesquisa. Nota-se que nos países destacados (Indonésia e Arábia Saudita), há concentração de pesquisa em poucas instituições.

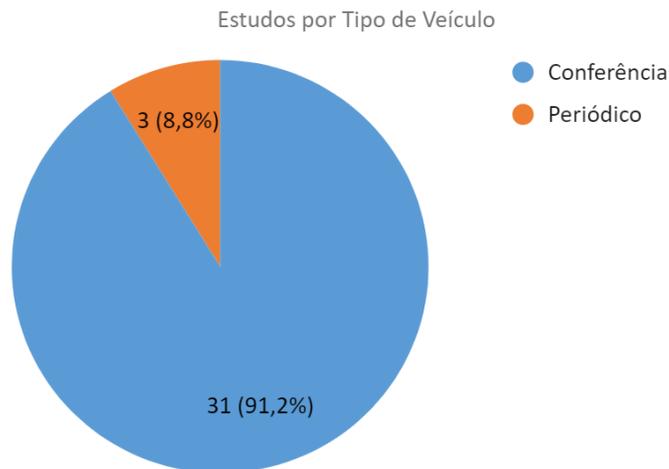
Apresentamos a contagem de artigos de acordo com o tipo de publicação. Essa informação lança luz sobre o comportamento dos pesquisadores no campo da ciência da computação, evidenciando que a maioria significativa dos estudos é publicada em conferências, representando 91,2% do total. Em contraste, a publicação em periódicos compreende apenas 8,8% do conjunto total de estudos, indicando uma clara preferência pela submissão de artigos em eventos do tipo conferência. A distribuição desses dados está representada na Figura 3.

Figura 2 - Países que mais publicam



Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 3 - Número de publicações por tipo de evento



Fonte: Elaboração própria (2023).

A seguir, são apresentados os principais eventos identificados neste estudo (conforme mostrado no Quadro 8), que incluíram publicações em diferentes momentos e estavam em consonância com o âmbito desta pesquisa. Nessa logicidade, destaca-se as conferências “ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing”, “Brazilian Symposium on Software Quality”, “International Conference on Intelligent Science and Technology”, “International Conference on the Quality of Information and Communications Technology” com dois artigos publicados cada. Portanto os pesquisadores interessados em atuar nesta área de pesquisa devem considerar a busca por essas conferências como um importante meio de disseminação de seus trabalhos.

Quadro 8 - Número de publicações em conferências

Nome do Veículo	Quantidade
ACM/IEEE international symposium on Empirical software engineering	1
ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing	2
Asia Pacific Information Technology Conference	1
Brazilian Symposium on Software Quality	2
Conferência de Simulação de Inverno	1
Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications	1
FME Workshop on Formal Methods in Software Engineering	1
Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)	1
IEEE Access	3
IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)	1
IEEE International Systems Conference (SysCon)	1
IEEE Tenth International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS)	1
International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)	1
International Conference Advancement in Data Science, E-learning and Information Systems (ICADEIS)	1
International Conference on Advances in Computing, Communication and Control	1
International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)	1
International Conference on Computer Science and Software Engineering	1
International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design	1
International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)	1
International Conference on Intelligent Science and Technology	2
International Conference on Open Source Systems & Technologies	1
International Conference on Science in Information Technology (ICSITech)	1
International Conference on Software and System Process	1
International conference on Software engineering	1
International Conference on the Quality of Information and Communications Technology	2
International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication	1
International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences (IMSCCS)	1
International Workshop on Software Technology and Engineering Practice	1
National Software Engineering Conference	1

Fonte: Elaboração própria (2023).

No Quadro 9 é listado o periódico onde ocorreram publicações, destacando o "IEEE Access", que registrou três publicações. A menor frequência de publicações em periódicos reflete a inclinação dos pesquisadores da área de ciência da computação para compartilhar seus estudos principalmente em conferências acadêmicas.

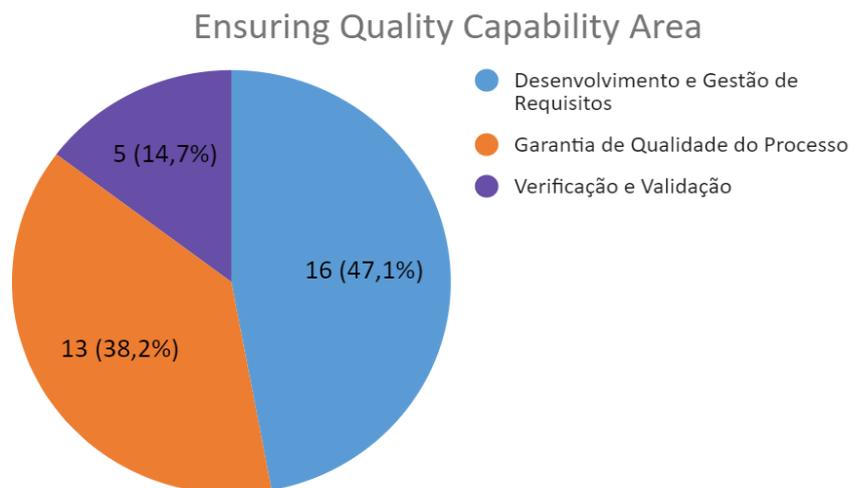
Quadro 9 - Número de publicações em periódicos (journals)

Periódicos (journals)	Quantidade
IEEE Access	3

Fonte: Elaboração própria (2023).

Na Figura 4 é disponibilizada a classificação das áreas de prática do CMMI 2.0v nas publicações, sendo o "Desenvolvimento e Gestão de Requisitos" (69,6%) o mais proeminente, com dezesseis publicações, seguida da área prática "Garantia de Qualidade do Processo" com 13 publicações (38,2%) e a área prática "Verificação e Validação" com cinco artigos (14,7%). Notavelmente, a área de prática "Revisão por Pares" não foi mencionada. Isso pode ser atribuído à frequência relativamente menor de publicações nessa área, possivelmente devido à sua interação intercalada com outras áreas de prática do CMMI.

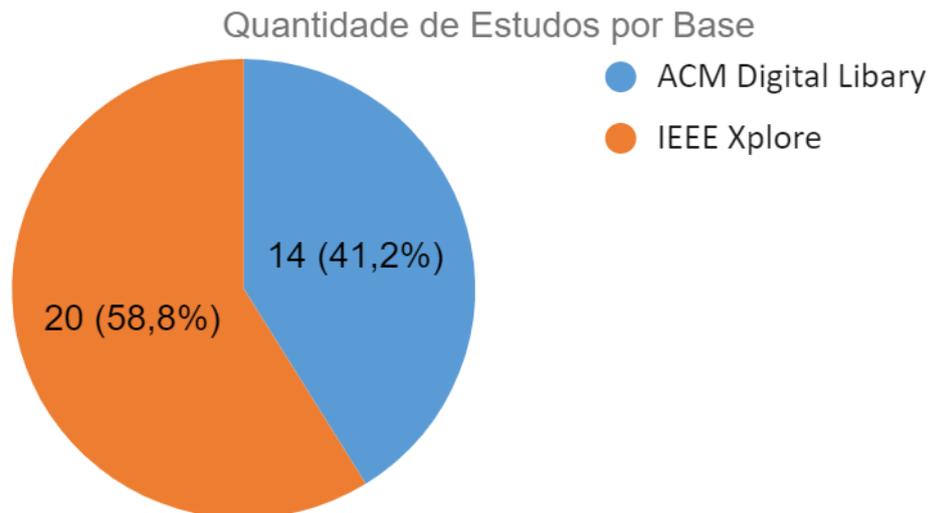
Figura 4 - Número de publicações por fontes de dados



Fonte: Elaboração própria (2023).

Por último, apresentamos o número de publicações de acordo com a fonte de pesquisa (Figura 5). É notável uma quantidade significativamente maior de publicações na fonte "IEEE Xplore" totalizando vinte publicações (58,8%), seguida pela base "ACM Digital Library" que registrou quatorze (41,2%). O maior número de publicações na base de dados "IEEE Xplore" reflete a preferência dos pesquisadores da área de ciência da computação por disponibilizar seus estudos nesse repositório. Acreditamos que essa preferência seja justificada pelo fato de que essa fonte é reconhecida por ser uma referência na publicação de trabalhos relacionados à pesquisa em computação, tornando-se uma das escolhas naturais para os pesquisadores nesse campo.

Figura 5 - Número de publicações por fontes de dados



Fonte: Elaboração própria (2023).

6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de software é suscetível a incertezas em áreas como planejamento, cronograma, custos e qualidade do produto. A gestão de projetos desempenha um papel crucial na mitigação dessas incertezas, e o modelo CMMI é uma referência importante para o amadurecimento de negócios de tecnologia. Este estudo visou definir um protocolo para revisão sistemática da literatura e examinar a garantia de qualidade de software no contexto do CMMI 2.0v. Esse protocolo de RSL revelou 34 estudos voltados para a descrição da implementação do processo de Ensuring Quality, destes destacam-se principalmente os autores brasileiros.

A qualidade de software está ligada ao atendimento aos requisitos e à satisfação do usuário. A falta de padrões e controle pode prejudicar a entrega de produtos de alta qualidade e sua manutenção ao longo do tempo. O CMMI 2.0v oferece diretrizes abrangentes, incluindo a Área de Capacidade de Garantia de Qualidade, que aborda Desenvolvimento e Gerenciamento de Requisitos, Garantia de Qualidade de Processo, Verificação, Validação e Revisão por Pares.

A principal contribuição deste trabalho foi divulgar dados de um protocolo de pesquisa que pode ser utilizado em outros trabalhos semelhantes, uma vez que uma RSL é passível de replicação (BASILI, 1992). Este trabalho também contribuiu com dados bibliométricos, a partir da identificação de estudos que demonstram como os processos da Ensuring Quality do CMMI são implementados e quais as etapas são necessárias para sua implementação.

Uma das limitações foi que a pesquisa da RSL foi executada até a etapa 4, conforme subseção 4.2, no qual são extraídas as informações bibliométricas (autores, base de busca, país do(s) autor(es), ano de publicação, universidade do(s) autor(es)), dos estudos selecionados. No entanto, não foram classificadas para responder às perguntas das questões de pesquisa seção 4.5.

Visando trabalhos futuros, é possível dar continuidade à execução da etapa 4 de forma integral do protocolo de pesquisa, conforme seção 4.5, assim respondendo às questões de pesquisa, o que permitirá identificar as principais etapas e como os processos da capacidade Ensuring Quality são aplicados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASILI, Victor R. Software modeling and measurement: the Goal/Question/Metric paradigm. 1992.

Centro de Recursos CMMI Disponível em: <<https://cmmiinstitute.com/resources>>, acesso em março de 2023.

DEBASTIANI, CA. Definindo Escopo em Projetos de Software. 1ª Edição. Novatec, Maio/2015.

ENGHOLM, HJ. Engenharia de Software na Prática. Novatec, 2010.

FERDINANSYAH, Alex, PURWANDARI, Betty. 2021. Challenges in Combining Agile Development and CMMI: A Systematic Literature Review. In Proceedings of the 2021 10th International Conference on Software and Computer Applications (ICSCA '21). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 63–69. <https://doi.org/10.1145/3457784.3457803>

FERNANDES, J.M; MACHADO, R.J. Requisitos em Projetos de Software e de Sistemas de Informação. 1ª Edição. Novatec, Abril/2017.

PAULA FILHO, W.P. Engenharia de software: projetos e processos. 4ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

PAULA FILHO, W.P. Engenharia de software: produtos. 4ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

TARHAN, Ayça, GIRAY, Görkem. 2017. On the Use of Ontologies in Software Process Assessment: A Systematic Literature Review. In Proceedings of the 21st International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE '17). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2–11. <https://doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1145/3084226.3084261>

VALENTE, MC. Engenharia de Software Moderna: princípios e práticas para desenvolvimento de software com produtividade. Belo Horizonte, 2020.