

Universidade Federal de Juiz de Fora  
Instituto de Ciências Exatas  
Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação

**Vinicius Junqueira Schettino**

**Uma ferramenta para recomendação de revisores de código para apoiar a  
colaboração em Desenvolvimento Distribuído de Software**

Juiz de Fora

2018

**Vinicius Junqueira Schettino**

**Uma ferramenta para recomendação de revisores de código para apoiar a  
colaboração em Desenvolvimento Distribuído de Software**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Marco Antônio Pereira Araújo

Juiz de Fora

2018

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Junqueira Schettino, Vinicius.

Uma ferramenta para recomendação de revisores de código para apoiar  
a colaboração em Desenvolvimento Distribuído de Software / Vinicius  
Junqueira Schettino. – 2018.

47 f.

Orientador: Marco Antônio Pereira Araújo

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto  
de Ciências Exatas. Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação,  
2018.

1. Palavra-chave. 2. Palavra-chave. 3. Palavra-chave. I. Pereira Araújo,  
Marco Antônio, orient. II. Título.

**Vinicius Junqueira Schettino**

**Uma ferramenta para recomendação de revisores de código para apoiar a  
colaboração em Desenvolvimento Distribuído de Software**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

## AGRADECIMENTOS

“Texto em que o autor apresenta uma citação, seguida de autoria, relacionada com a  
matéria tratada no corpo do trabalho”  
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011, p. 2)  
A epígrafe elaborada conforme NBR 10520 (Epígrafe - Opcional)

## **RESUMO**

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - 6028 (2003, p. 2) “o resumo deve ressaltar o objetivo, método e as conclusões do documento (...) Deve ser composto de uma sequência de frases concisas, afirmativas e não de enumeração de tópicos. Recomenda-se o uso de parágrafo único.” O resumo deve ter de 150 a 500 palavras.

Palavras-chave: Palavra-chave. Palavra-chave. Palavra-chave.

## ABSTRACT

...

Key-words: ...



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Pull Request Process [1]	17
Figura 2 – Condução do protocolo sistemático	21
Figura 3 – Interação entre autor e revisor durante a revisão	28
Figura 4 – Troca de participação entre os principais membros do projeto	29
Figura 5 – Documentação para dar suporte à contribuição no Tensorflow	32
Figura 6 – Distribuição do grau de saída do Node.js	33
Figura 7 – Distribuição do grau de saída ponderado do Node.js	34
Figura 8 – Silhuetas do Node.js	35
Figura 9 – Representação de um dos <i>clusters</i> do Kubernetes	37
Figura 10 – Diagrama de Componentes da ferramenta	39
Figura 11 – Diagrama de Sequência da ferramenta	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Publicações por veículos . . . . .	22
Tabela 2 – Projetos e principais características . . . . .	31
Tabela 3 – Valores otimizados pela silhueta de cada projeto . . . . .	36

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
DDS	Desenvolvimento Distribuído de Software

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>PRESSUPOSTOS TEÓRICOS . . . . .</b>	<b>16</b>
2.1	<i>Code review</i> . . . . .	16
2.1.1	Relevância . . . . .	16
2.1.2	Histórico . . . . .	16
2.1.3	Pull Based Method . . . . .	16
2.2	Desenvolvimento Distribuído de Software . . . . .	17
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO . . . . .</b>	<b>19</b>
3.1	Revisão sistemática da literatura . . . . .	20
3.1.1	Questões de Pesquisa . . . . .	20
3.1.1.1	<b>MQ1: Quem são os principais autores na área?</b> . . . . .	20
3.1.1.2	<b>MQ2: Quais são os principais meios de publicação na área?</b> . . . . .	20
3.1.1.3	<b>MQ3: Em quais contextos a recomendação de revisores de código é utilizada? (Desenvolvimento global de software, indústria, Código Livre)</b> . . . . .	20
3.1.1.4	<b>RQ1: Como a eficiência da recomendação dos revisores é mensurada?</b> . . . . .	20
3.1.1.5	<b>RQ2: Quais informações dos repositórios de software são utilizadas para recomendar os revisores?</b> . . . . .	21
3.2	Categorização dos principais trabalhos . . . . .	23
3.2.1	Experiência dos revisores . . . . .	23
3.2.2	Experiência do Desenvolvedor . . . . .	23
3.2.3	Redes Sociais . . . . .	23
3.2.4	Abordagens Híbridas . . . . .	24
3.3	Métricas de avaliação . . . . .	24
3.4	Métricas para avaliação do Code Review . . . . .	25
<b>4</b>	<b>MÉTODOS DE RECOMENDAÇÃO . . . . .</b>	<b>27</b>
4.1	Redes de desenvolvedores . . . . .	27
4.2	Modelagem da rede . . . . .	27
4.2.1	Principais características . . . . .	28
4.3	Análise exploratória da rede proposta . . . . .	30
4.3.1	Escolha dos repositórios . . . . .	30
4.3.1.1	Node.js . . . . .	30

4.3.1.2	Kubernetes . . . . .	31
4.3.1.3	Symfony . . . . .	31
4.3.1.4	Tensorflow . . . . .	31
4.3.2	Resultados . . . . .	32
4.4	Clusterização . . . . .	34
4.4.1	NetSCAN . . . . .	35
4.4.2	Execução . . . . .	36
4.4.3	Avaliação da clusterização . . . . .	36
4.5	Métodos de recomendação . . . . .	36
4.5.1	RandomCore . . . . .	36
4.5.2	CoreSameCluster . . . . .	36
4.5.3	LabelPartners . . . . .	36
<b>5</b>	<b>SOLUÇÃO DESENVOLVIDA . . . . .</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO . . . . .</b>	<b>41</b>
6.1	Processo de Avaliação . . . . .	41
6.2	Apresentação dos resultados . . . . .	41
6.3	Discussão dos resultados . . . . .	41
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>42</b>
7.1	Ameaças . . . . .	42
7.2	Trabalhos futuros . . . . .	42
7.3	Considerações finais . . . . .	42
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O *code review* é considerado uma das principais técnicas para diminuição de defeitos de software [2]. Nela, o autor de uma alteração na base de código de um projeto submete tal conteúdo ao crivo de um conjunto de pares técnicos, que irão revisar sua estrutura com base em um lista de regras e convenções previamente definida. Diferentes aspectos relacionados ao autor, ao revisor e ao processo de revisão em si estão diretamente relacionados à eficiência da prática. Autores relatam a diminuição da incidência de *anti-patterns* [3] de acordo com o nível de participação dos envolvidos e cobertura do código revisado [4, 5, 6]. Reputação [7, 8] e experiência [9] do revisor também parecem impactar nos efeitos do *code review*.

Intrinsecamente colaborativa, a atividade de *code review* é exercida com suporte de ferramentas computacionais específicas [10], principalmente no desenvolvimento distribuído. Dentro de workflows de trabalho descentralizados [11], a prática funciona como um *gateway* de qualidade que busca garantir que apenas alterações aderentes aos padrões de qualidade do projeto serão incorporados à codebase principal. Esta etapa do desenvolvimento se torna uma oportunidade para disseminação de conhecimento, embate de ideias e discussão de melhores práticas entre profissionais de experiência e visões diferentes. Para tanto, percebe-se a necessidade de suporte computacional para essas atividades colaborativas.

Tais aspectos configuram o Desenvolvimento Distribuído de Software (DDS), onde equipes de desenvolvimento se encontram espalhadas por organizações e espaços geográficos distintos. Este novo ramo da Engenharia de Software vem modificando a relação entre empresas e sistemas, principalmente em relação às estratégias de negócios [12]. As próprias relações de negócios fomentam a distribuição das equipes, procurando diminuição dos custos e a incorporação de mão de obra qualificada que pode estar em qualquer lugar do planeta.

Neste contexto, porém, os os desafios à colaboração co-localizada são potencializados e as soluções tradicionais não são suficientes para fomentar esta aspecto das atividades distribuídas [13]. Casey [14] mostra que, com a distribuição geográfica dos times, diversos outros desafios, antes considerados colaterais ou resolvidos, emergem de forma a ameaçar a colaboração entre os membros da equipe: barreiras culturais, temporais e geográficas; reengenharia dos processos de desenvolvimento; resistência em compartilhar informações e conhecimento com os pares distribuídos; entre outros desafios.

Estes desafios do Desenvolvimento Distribuído de Software afetam o *code review* de duas formas distintas. Primeiro, o processo de revisão pode se tornar lento e ineficiente quando a colaboração é afetada, devido aos baixos níveis de participação e cobertura. O mesmo vale para a disseminação do conhecimento, que fica prejudicada. Outro desafio que se consolida é a escolha do revisor adequado para aquele *patch*. Com um vasto número de

opções e pouca informação disponível sobre seus aspectos técnicos e gerenciais (e.g. tempo disponível) já que não há contato co-localizado entre eles, a natureza distribuída deste tipo de desenvolvimento dificulta o processo de escolha do revisor, impactando negativamente a eficiência do processo.

Uma possível solução, visando amparar a colaboração e evitando o *overhead* da escolha do revisor, seria manter grupos bem testados e experientes exercendo as atividades de revisão. Ou ainda, fixar, dentro de cada equipe de desenvolvimento, quem são os responsáveis por revisão e pela submissão dos *patches*, evitando a diversificação das relações de trabalho.

Contudo, estudos recentes demonstram que a fixação de grupos e responsabilidades pode não ser benéfica para o processo de desenvolvimento. Scott Page [15] argumenta que a diversidade de experiências, visões e especialidades fazem com que grupos sejam mais eficientes. Já Prikladnicki et al. [16] apontam indícios de que a formação de grupos temporários em detrimento ou em conjunto com permanentes é um fator de eficiência em projetos de software:

“Although old colleagues bring knowledge of the development process and prior norms from previous teams, new members bring fresh ideas that could promote project performance and creativity. Old colleagues might not do so and might not give new members a chance to implement their ideas.”

Essa visão aponta que a formação dinâmica dos grupos de trabalho em desenvolvimento de software potencializa a disseminação do conhecimento, um dos objetivos primários do *code review* [10].

Existem alguns trabalhos congêneres que demonstram métodos de recomendação de revisores [17, 18, 19]. Esses trabalhos foram estudados e levados em consideração para escrita do presente texto. Também foram revisadas pesquisas que apontam características de revisões, revisores e autores que possivelmente potencializam a colaboração [3, 20, 7]. Tais aspectos são apresentados e discutidos no capítulo 3.

As principais lacunas deixadas pelos trabalhos anteriores estão relacionadas aos objetivos e à avaliação dos métodos propostos, principalmente em DDS. Primeiramente, não há relato de método de recomendação de revisores de código com o objetivo específico de potencializar a colaboração. Por isso, métodos já propostos não utilizam métricas nem variáveis de entrada relacionadas aos aspectos de cooperação, coordenação e comunicação, como por exemplo a abordagem 3C em DDS [21].

Outro ponto observado diz respeito à avaliação dos modelos de avaliação. Os trabalhos encontrados se limitam a comparar seus resultados com métricas relacionadas à proximidade dos mesmos com a indicação manual do revisor. Ou seja, a eficiência é tida de acordo com a interseção entre o recomendado automaticamente e por decisão de um

especialista, geralmente um desenvolvedor. Este modelo assume que o responsável pela indicação manual tem os subsídios naturais para fazer uma boa escolha. Em DDS isso pode não ser verdade, uma vez que fatores como diferenças culturais, de horário, geográficas e de maturidade podem diminuir a compreensão do indicador e propiciar a escolha inadequada do revisor. Por isso, no contexto apresentado, outras formas de avaliação podem ser mais apropriadas. Tais discussão são extendidas no capítulo 4.

Expostos os desafios que o Desenvolvimento Distribuído de Software impõe sobre a escolha do revisor de código, a importância da indicação do revisor adequado do ponto de vista de colaboração e a motivação da formação de grupos heterogêneos e dinâmicos, sumariza-se o intuito do presente texto. De acordo com a abordagem QGM (Goal/Question/Metric) proposta por Basili et al. [22], postula-se o objetivo do trabalho como: **Implementar** um método de recomendação de revisores **com o objetivo de** potencializar a colaboração **em relação aos aspectos** de coordenação **do ponto de vista** de revisores e autores **no contexto de** desenvolvimento distribuído de software.

A principal hipótese que norteia o andamento desta proposta, e que será revisitada e discutida nos capítulos derradeiros é:

- O método de recomendação apresentado pode potencializar a colaboração entre revisores e autores.

O uso de ferramentas computacionais para o processo de revisão de código se tornou prática comum nos últimos anos [10]. O GitHub é uma plataforma rica em repositórios de projetos de software. Muitos são de código aberto, disponíveis para mineração. Discussões sobre o *workflow* de trabalho na ferramenta em contraponto à métodos tradicionais de revisão podem ser vistas na seção 2.1. São 24 milhões de usuários, 67 milhões de projetos e 47 milhões de revisões<sup>1</sup>, também chamadas de *pull requests* no modelo de desenvolvimento “*pull based*” [1]. Essa abordagem é explorada na seção 2.1.3.

Esta característica permitiu a extração e análise automatizadas das informações sobre as revisões em projetos de código aberto, através de APIs disponibilizadas para este fim. Foram extraídas métricas apontadas como relevantes para nossos objetivos pela literatura relacionada. A arquitetura que embasa a extração e análise destes dados com objetivo de recomendação é explicada no capítulo 5.

A avaliação da eficiência do método proposto apresenta particularidades em relação à trabalhos relacionados, devido ao enfoque em colaboração no contexto de DDS. O método de avaliação é devidamente discutido e aplicado no capítulo 6, incluindo a apresentação dos experimentos e a revisão da hipótese levantada neste capítulo. Por fim, o capítulo 7

---

<sup>1</sup> <https://octoverse.github.com/>



é dedicado ao fechamento do trabalho, incluindo a sugestão de trabalhos futuros e a discussão de ameaças a validade e generalização dos resultados apresentados.

## 2 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

### 2.1 *Code review*

O *code review* é uma prática consolidada e difundida em diversas organizações, contemplando diferentes portes e segmentos de mercado. A técnica constitui da análise técnica de uma mudança a ser submetida à base principal de código (repositório-mestre) por parte de um revisor técnico, tendo como base uma lista de diretrizes e padrões a serem observados. As nuances do processo variam em cada contexto levando em consideração, por exemplo, tolerância a defeitos, modelo de desenvolvimento e os objetivos almejados.

#### 2.1.1 Relevância

O *code review* está associada diretamente à detecção precoce de defeitos em produtos de software [23, 3], sendo reconhecida como uma das principais técnicas com este fim [2]. Mais especificamente, é relatada maior eficiência quanto aos defeitos não-funcionais, enquanto os defeitos funcionais são menos afetados no processo [24]. Outros autores reportam a diminuição de defeitos através de estudos de caso [25, 6, 5].

#### 2.1.2 Histórico

A atividade de revisão remonta da década de 80 [26], e desde então vem evoluindo para suportar interações mais rápidas e constantes, com uso de ferramentas computacionais e práticas ágeis. O Modern Code Review (MCR) surge em sinergia com os modelos ágeis e distribuídos de desenvolvimento, valorizando mais a comunicação e troca de experiências entre autor e revisor [10].

#### 2.1.3 Pull Based Method

O conceito de *branches* é a base para sistemas de controle de versão descentralizados, como o Git<sup>1</sup> e o Mercurial<sup>2</sup>. Com as *branches* é possível desenvolver paralelamente, submetendo e mesclando as alterações no código em momentos oportunos. Esta característica é interessante para o DDS, uma vez que o isolamento e a atomicidade do trabalho de cada um até o momento de submissão é fundamental para a coordenação dos esforços [27].

Estas tecnologias permitiram o surgimento de um paradigma de desenvolvimento baseado em pulls, ou *pull-based method* [1]. O processo de revisão de código evolui neste novo paradigma, servindo como um *gateway* de qualidade que busca garantir que apenas alterações aderentes aos padrões de qualidade do projeto serão incorporados à codebase principal [28]. A figura 1 ilustra tal modelo de trabalho instanciado no GitHub<sup>3</sup>,

---

<sup>1</sup> <https://git-scm.com/>

<sup>2</sup> <https://www.mercurial-scm.org/>

<sup>3</sup> <https://github.com>

principal expoente que oferece este paradigma. Nele é representado um modelo comum em desenvolvimento OpenSource [29], onde há um *core team* responsável por revisar os *pulls* de seus colegas e da comunidade no geral. Neste modelo, a mudança chega à codebase principal somente se houver o aval de um membro do *core team*.

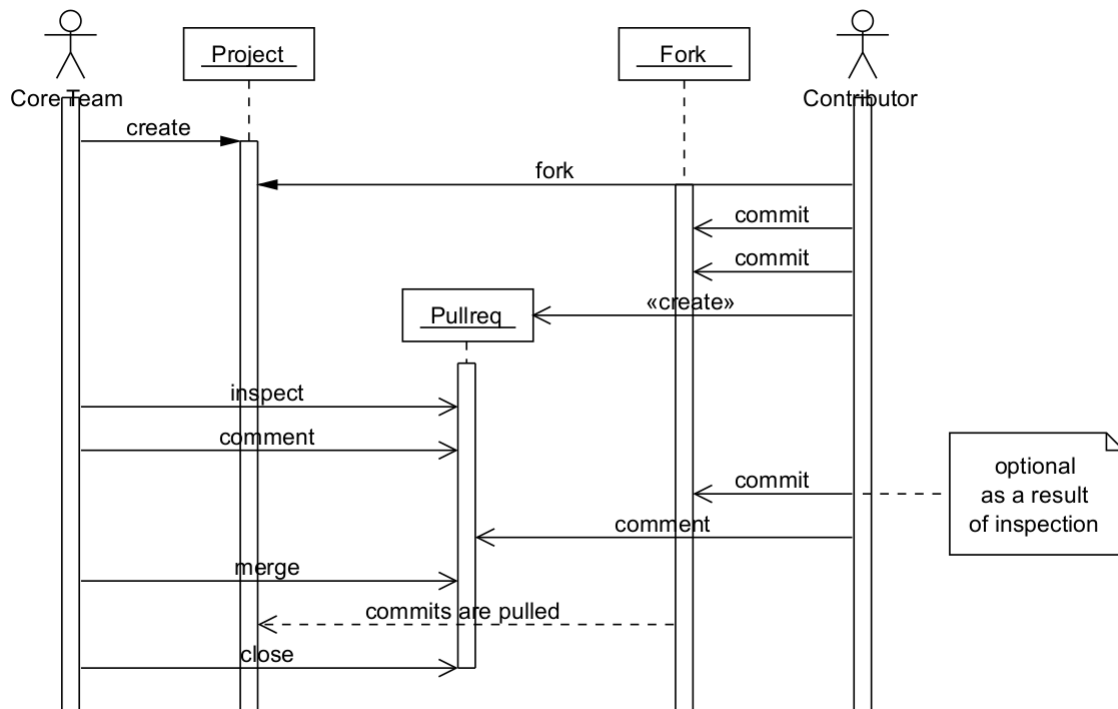


Figura 1 – Pull Request Process [1]

Aquele que deseja contribuir cria para si uma cópia do projeto através de um *fork*. Esta ação cria em seu diretório de trabalho um projeto idêntico ao original, mas ao qual ele tem acesso total de submissão e modificação. Nessa cópia, ele executa as modificações desejadas, geralmente em uma *branch* dedicada para tal [11]. Ao terminar, ele solicita a integração da *branch* do *fork* de volta ao projeto original. Essa solicitação é chamada de *pull-request*, que será analisada por um desenvolvedor com as devidas permissões. Durante esta revisão, o autor pode gerar novas modificações, geralmente atreladas aos pedidos do revisor. Ao final, a mudança é rejeitada (*closed*) ou aceita *merged*.

Os membros do core também têm suas *branches* revisadas por um processo análogo [29, 8]. A principal diferença é que não há necessidade do *fork*, já que eles tem as permissões necessárias para criar uma nova *branch* no projeto-alvo.

## 2.2 Desenvolvimento Distribuído de Software

O Desenvolvimento Distribuído de Software é uma abordagem em crescente utilização no cenário atual [30]. Este *workflow* descentralizado é caracterizado por membros das equipes de trabalho localizadas em lugares distintos espalhados pelo globo. Modalidades

de *home office* e *freelancer* são comuns nestes contextos, mas basta que um membro de uma equipe esteja geograficamente disperso para caracterizar este fenômeno [31]. Esta mudança no paradigma tradicional de desenvolvimento colocalizado é patrocinada pelas organizações com o objetivo de reduzir custos, ter acesso a mão de obra mais qualificada e especialmente se manter competitivos num mercado cada vez mais concorrido [32].

Assim, os aspectos técnicos do processo produtivo devem se alinhar aos objetivos globais das organizações para dar suporte ao desenvolvimento distribuído e encarar os diversos desafios que permeiam esta mudança. Entre eles, é possível destacar o embate de aspectos socio-culturais, geográficos e de fuso horários. Em suma, estas características inerentes ao desenvolvimento distribuído ameaçam a produtividade ao dificultar os processos que envolvem coordenação, comunicação e cooperação [33].

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Levando em consideração a complexidade e a importância da recomendação de revisores de código, associados com a grande variedade de métodos já propostos para tal fim, foram conduzidas uma revisão e um mapeamento da literatura relacionada «citar aqui». No presente trabalho os principais aspectos e resultados deste estudo serão apresentados, com ênfase naqueles particularmente relevantes aqui. De acordo com parâmetros e diretrizes estabelecidos, [34] o objetivo é apresentar o estado da arte das ferramentas, métodos e potenciais funcionalidades que suportem a escolha de revisores de código. Conhecendo o comportamento histórico do campo, podemos nutrir o desenvolvimento de novas soluções embasadas nas contribuições mais recentes com foco nas lacunas existentes e capazes de contribuir com a evolução das pesquisas relacionadas.

De acordo com estes objetivos, buscamos apresentar em quais contextos a técnica de recomendação automatizada é mais relevante, e quais são as métricas que os pesquisadores utilizam para avaliar e comparar as abordagens propostas. Estas análises podem auxiliar a criar uma estrutura sólida para que novos métodos possam ter sua eficiência avaliada de maneira direta e reproduzível.

Existem tentativas anteriores de reunir e avaliar diferentes métodos de recomendação de revisores, apesar de nenhuma delas envolver um processo sistemático de revisão da literatura relevante. Por isso, não há uma clara classificação dos modelos e os aspectos de reprodutibilidade e replicação dos estudos foram negativamente afetados. Yang et al. [35] apresentam diversos estudos e aplicam um método conhecido numa grande base de dados, tirando conclusões sobre como a eficiência dos revisores ativos é muito maior do que aqueles que não participam do processo de forma contundente. Os autores também apresentam uma análise detalhada da base de dados utilizada, possibilitando entender melhor o contexto e a importância do comportamento dos envolvidos nos resultados do processo.

Hannebauer et al. [36] reconhecem que encontrar revisores adequados é um desafio e focam em comparar empiricamente oito diferentes abordagens em quatro conhecidos projetos *open source*. Já Consentino et al. [37] apresentam uma revisão sistemática ampla, sobre o processo de desenvolvimento baseado em *pull requests* do GitHub, citando alguns pontos da revisão de código. Apesar de importantes para compreensão da área de pesquisa, as contribuições anteriores não contam com o rigor de uma revisão sistemática da literatura, prejudicando aspectos de reprodutibilidade, adaptabilidade, replicabilidade. Assim, justificamos a necessidade de conduzir uma revisão sistemática para dar suporte teórico à este trabalho, evitando ainda viés por parte dos autores e nutrindo conclusões baseadas em evidências [38].

### 3.1 Revisão sistemática da literatura

As diretrizes para embasar pesquisas sistemáticas em Ciência da Computação foram propostas por Kitchenham [34], ao adaptar abordagens e outras áreas, especialmente das Ciências Méticas. Enquanto o mapeamento traz um panorama geral do desenvolvimento de uma área, a revisão sistemática foca em questões mais específicas e objetivas, muitas vezes relacionadas aos resultados dos estudos. [38]. Apesar de geralmente seguir o mesmo protocolo, o escopo, critérios e questões de pesquisa são distintos. Levando em consideração os objetivos deste trabalho a configuração atual da área de pesquisa, ambas as abordagens podem ser úteis. Todas etapas do estudo foram concretizadas por quatro diferentes especialistas, em análises distintas. Todos os critério de inclusão e exclusão dos trabalhos e eventuais divergências foram discutidos em profundidade antes da definição dos resultados.

#### 3.1.1 Questões de Pesquisa

No trabalho conduzido, as seguintes questões foram escolhidas para caracterizar a área de recomendação de revisores de código;

##### 3.1.1.1 MQ1: Quem são os principais autores na área?

Ao identificar os principais autores, embasamos os futuros pesquisadores da área com um ponto de partida para leitura e acompanhamento.

##### 3.1.1.2 MQ2: Quais são os principais meios de publicação na área?

O tipo de publicação e conceituação do meio podem ser evidências da maturidade do campo de pesquisa e atenção direcionada pela comunidade acadêmica.

##### 3.1.1.3 MQ3: Em quais contextos a recomendação de revisores de código é utilizada? (Desenvolvimento global de software, indústria, Código Livre)

O objetivo é endender quais contextos potencializam a necessidade de métodos automatizados de recomendação.

Buscando por um panorama mais espeífico e objetivo, foram propostas as seguintes questões de pesquisa para serem analisadas através da revisão sistemática:

##### 3.1.1.4 RQ1: Como a eficiência da recomendação dos revisroes é mensurada?

Para propor novos métodos de recomendação é importante conhecer as métricas de avaliação empregadas nos trabalhos anteriores de forma a fundamentar a comparação dos resultados.

### 3.1.1.5 RQ2: Quais informações dos repositórios de software são utilizadas para recomendar os revisores?

Para propor novos métodos de recomendação é importante entender quais informações foram utilizadas em propostas anteriores, sendo assim possível estendê-las e discutir novas abordagens e aplicações.

Levando em consideração objetivos da abordagem sistemáticas (definidas pelo processo GQM [22]) e os termos definidos pelo PICOC [39] a *string* de busca foi construída. Termos similares e sinônimos foram incluídos para obter um espectro maior de publicações. Termos como “*pull-request*” foram adicionados para garantir que trabalhos sobre “pull-based software development” (como ilustrado na seção 2.1.3) fossem encontrados. Assim, a seguinte *string* foi gerada:

*("software developer"AND developer) AND ("reviewer recommendation"OR "commenter recommendation") AND (method OR tool OR solution OR framework ) AND ( "code review"OR "pull-request"OR "pull request")*

A *string* de busca proposta foi revisada pelos autores do trabalho anterior separadamente, assim como por um pesquisador externo com o objetivo de validar a sua composição, relevância e emprego e termos correlatos. Buscas *ad-hoc* foram conduzidas para validar o uso dos termos na área e foram encontradas em trabalhos relevantes.

A busca foi executada, com pequenas modificações de sintaxe para aderir aos padrões das diferentes bases de dados. Os resultados foram explorados com o auxílio da ferramenta Parsifal <sup>1</sup>, muito útil para acompanhar o processo sistemático proposto por Kitchenham [34]. Na ferramenta foi possível remover trabalhos duplicados, classificar os restantes de acordo com o critério de exclusão e categorizar os restantes de acordo com a relevância para o trabalho. A figura 2 descreve este processo.

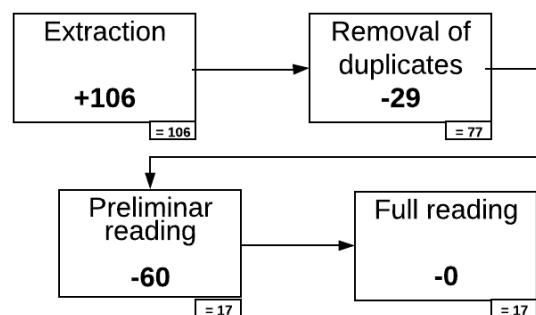


Figura 2 – Condução do protocolo sistemático

<sup>1</sup> <http://parsif.al>

Ao todo, 106 trabalhos foram encontrados. Destes, 29 foram considerados duplicados, enquanto 60 foram rejeitados de acordo com os critérios de exclusão. A principal razão foi não apresentar um método de recomendação com evidências empíricas de eficiência. Os 17 trabalhos restantes passaram pela leitura completa, constatando-se que todos cumpriam os critérios para inclusão na análise. Respondendo a **MQ2**, a tabela 1 indica os trabalhos selecionados separados por meio de publicação. o *h5-index* indica o fator de citação da de cada veículo nos últimos 5 anos.

Reference	Channel	h5-index
[40][41]	ICSE - IEEE/ACM International Conference on Software Engineering	68
[42]	IEEE Transactions on Software Engineering	52
[43]	GLOBECOM - IEEE Global Communications Conference	48
[44]	SIGSOFT - ACM International Symposium on Foundations of Software Engineering	43
[45]	Journal of Intelligent Information Systems	22
[46]	Journal of Computer Science and Technology	22
[47]	IEICE Transactions on Information and Systems	17
[48]	SANER - IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering	13
[17, 49]	APSEC Asia-Pacific Software Engineering Conference	12
[50]	IEEE/ACM International Workshop on Software Mining	*
[51]	International Workshop on CrowdSourcing in Software Engineering	*
[52][53][54]	ICSME - IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution	*
[55]	IWCNS - International Workshop on Complex Systems and Networks	*

Tabela 1 – Publicações por veículos

Os resultados obtidos através da análise da **MQ3** servem para direcionar ferramentas de recomendação em contextos onde este tipo de técnica se faz mais relevante. É possível observar que a recomendação de revisores está relacionada ao desenvolvimento distribuído e ao desenvolvimento “pull-based”. Esta associação parece ser embasada aos desafios interessantes do desenvolvimento global. Ying et al. [51] justificam este fenômeno através do maior número de revisões e revisores, o que dificulta a seleção manual dos envolvidos. Yu et al. [17] mostram que encontrar o melhor revisor para um “pull request” é um trabalho tipicamente de “crowdsourcing”. Assim, para a escolha manual é necessário validar a opinião de muitas pessoas, o que dificulta o processo. Neste contexto também é comum contar com uma riqueza maior de informações graças ao emprego massivo de ferramentas de suporte ao desenvolvimento, onde é a agregação e utilização destes dados ainda é um desafio [40].

A maior parte dos trabalhos listados utilizou repositórios de dados “*Open Source*” para testar os métodos propostos, enquanto alguns foram além de utilizaram mecanismos e informações específicas deste tipo de desenvolvimento para criar ferramentas especializadas neste contexto. Devido ao ambiente de rápida interação e grande quantidade de contribuidores esporádicos, as revisões adequadas (muitas vezes movidas pela escolha dos revisores adequados) podem aumentar a retenção de desenvolvedores e influenciar no sucesso do projeto [55]. Neste tipo de processo produtivo é comum existir um grupo seletivo de desenvolvedores experientes que agem como guardiões da qualidade, padronização e objetivos dos projetos durante o processo de revisão. Como estes são responsáveis por



um conjunto muito grande de revisões [49], o atraso na assimilação do código proposto à codebase principal pode atrasar as entregas e desencorajar novas contribuições [46]. Assim, recomendações automáticas podem distribuir melhor a carga de revisão e aproveitar melhor as especialidades de cada membro da equipe.

Diante do exposto, os métodos de recomendação deste trabalho levam em consideração aspectos do desenvolvimento distribuído em sua concepção. O desenvolvimento “*Open Source*” é um dos contextos mais maduros e carantes deste tipo de abordagem, e por isso são o principal alvo da ferramenta e campo para avaliação do proposto. Além disso, este tipo de repositório é mais acessível, o que auxilia na realização de experimentos auditáveis e reproduzíveis.

## 3.2 Categorização dos principais trabalhos

Com o objetivo de responder à **RQ2**, a revisão sistemática separou os trabalhos selecionados em quatro categorias distintas, de acordo com os dados nos quais cada um dos métodos apresentados utiliza.

### 3.2.1 Experiência dos revisores

Os métodos classificados nesta categoria utilizam a experiência de um revisor como principal informação para recomendá-lo. A lógica é que se ele atuou em revisões parecidas (tanto em região do código quanto em outros aspectos), ele será adequado para a revisão atual. Enquanto Fejzer et al. [45] propõem utilizar a similaridade do código submetido com o perfil do revisor, Liao et al. [43] definem um conjunto de tópicos que descrevem a experiência e que pode ser comparado com a necessidade da revisão atual. Thongtanunam et al. [48] apresenta uma abordagem onde o caminho dos arquivos revisados são comparados com o histórico de revisão dos potenciais indicados.

### 3.2.2 Experiência do Desenvolvedor

Alguns métodos inferem que a experiência do desenvolvedor em contribuições no passado podem indicar na sua capacidade em revisar modificações parecidas. Costa et al. [44] analisam quais foram os responsáveis por mudanças desta região para encontrar candidatos. Rahman et al. [40] apresentam o CORRECT, um método que analisa a experiência dos desenvolvedores em projetos diferentes mas que contam com tecnologias compartilhadas para recomendar.

### 3.2.3 Redes Sociais

Uma das abordagens compartilhada entre os métodos mais novos é utilizar os relacionamentos entre desenvolvedores para encontrar os revisores adequados. Ou seja, a

partir do histórico de interação (revisão, colaboração, comentários, respostas) é possível inferir quais seriam os melhores revisores para uma nova mudança. Estes relacionamentos são geralmente representados como grafos, construídos com ajuda de análises textuais, proximidade semântica e tópicos das interações passadas. Fu et al. [55] propõe utilizar um grafo baseado nas relações sociais dos desenvolvedores. Xia et al. [50] captura relações implícitas e valoriza interações mais recentes. Yu et al. [17, 52] estende métodos tradicionais em classificação de ocorrências (defeitos, solicitações e etc) para aplicação em recomendação revisores, extraíndo informações de discussões e comentários em desenvolvimento global. Yang et al. [47] emprega análise de redes sociais para encontrar revisores baseado na intensidade dos relacionamentos.

### 3.2.4 Abordagens Híbridas

Alguns métodos reúnem diferentes classes de informação para tentar assimilar as melhores características de cada uma delas. Através da análise de um grafo, Ying et al. [51] consideram tanto a experiência dos desenvolvedores quanto a autoridade no processo de desenvolvimento. Através da ferramenta CoreDevRec, Jiang et al. [46] utilizam o caminho dos arquivos modificados, a relação pregressa e a atividade dos envolvidos.

Ainda de acordo com a revisão sistemática conduzida, as abordagens baseadas em redes sociais são mais novas e alvo dos trabalhos com mais repercussão na área. Assim, para o escopo deste trabalho foi decidido explorar este tipo de abordagem, que está intimamente relacionado com o desenvolvimento distribuído.

## 3.3 Métricas de avaliação

Respondendo a **RQ1**, o trabalho de revisão sistemática identifica que a maior parte dos trabalhos utiliza métricas clássicas de sistemas de recomendação para avaliar os métodos, como Top-k *Precision*, *Recall* e *Hit*. Ou seja, é avaliada a proximidade do conjunto de tamanho  $k$  que foi recomendado pelo método em relação ao conjunto que um especialista escolheu. Assim, é uma avaliação que compara a capacidade do algoritmo proposto em relação ao que um ser humano especialista faria. a métrica de precisão (*Precision*) mostra o quão parecidos são os conjuntos, enquanto o *recall* aponta quantos itens do conjunto do especialista foram “esquecidos” pelo método proposto. Já o *hit* indica se pelo menos um membro do conjunto apontado pelo especialista foi considerado pelo algoritmo.

Em contraponto, a revisão sistemática mostrou que alguns autores propõem métodos mais sofisticados para avaliação dos métodos. Esta necessidade se justifica ao considerar que os humanos que indicam revisores não necessariamente são especialistas nesta tarefa. Isso acontece especialmente no desenvolvimento distribuído, onde não é fácil reunir informações sobre todos os envolvidos para embasar estas decisões. Além disso,

aspectos de disponibilidade, especialidade, horários e questões culturais deixam ainda mais improvável que os grupos de revisão definidos possam ser considerados como os ideais. Assim, a proximidade do conjunto sugerido com o conjunto efetivamente formado não é suficiente para avaliar os métodos.

Diversas avaliações alternativas são citadas. Yang et al. [47] leva em consideração qual o impacto das recomendações na interatividade das revisões. Outros trabalhos também discutem o impacto positivo dos seus métodos na eficiência do processo de revisão [50, 43]. A análise focada na eficiência e impacto dos métodos de revisão é motivação do presente trabalho, e fomenta aspectos que são detalhados na seção 3.4

### 3.4 Métricas para avaliação do Code Review

Para propor modelos de avaliação voltados para o impacto dos métodos em relação à eficiência do processo de revisão, é necessário estabelecer parâmetros de comparação que embasem tais análises. Além dos aspectos como número de comentários e respostas e tempo de resposta discutidos por Yang et al. [47]. Trabalhos prévios apresentam outras métricas relacionadas à avaliação do processo de revisão, que podem ser aplicadas no contexto da recomendação ao comparar o desempenho de dois grupos distintos de participações em revisões: os sugeridos pelo método e aqueles que não foram. Assim é possível medir se os revisores recomendados tiveram um desempenho melhor durante o processo.

Bosu et al. [56] conduziram um estudo empírico na Microsoft onde avaliaram manualmente a pertinência de milhares de comentários de revisões. Assim, buscaram descobrir quais características das revisões, revisores e comentários que levaram às interações mais positivas no processo: mais mudanças (frutos de discussões relevantes), adesão aos padrões de desenvolvimento e receptividade por parte dos autores. Já Rahman et al. [57] analisam os textos das discussões e encontra correlação da pertinência do revisor com comentários mais úteis. As principais métricas que podem ser objetivamente avaliadas são:

- Tempo curto de respostas;
- baixo índice de “stop words”;
- interatividade (respostas, comentários, etc);
- sentimento positivo;
- tamanho dos comentários.
- capacidade de gerar mudanças

Através de métricas como tempo de resposta e interatividade, é possível avaliar se os revisores indicados potencializam a colaboração e a produção de conhecimento através

da discussão, reflexos da revisão de código que devem ser fomentados [4, 5, 6]. Aspectos como sentimento positivo, baixo índice de “stop words” e tamanho dos comentários e a capacidade de gerar mudanças podem indicar que o revisor escolhido foi capaz de interagir positivamente com o processo, gerando valor agregado em soluções melhores e teve perfil e experiências compatíveis para contribuir com código em discussão [56].

Tendo como base os resultados da revisão sistemática, da leitura dos trabalhos relacionados, as análises contidas nos capítulos anteriores e o direcionamento aos principais desafios da pesquisa em recomendação de revisores de código, foi possível definir os seguintes tópicos basilares para o trabalho:

- O método proposto é direcionado ao contexto de desenvolvimento distribuído, com particularidades para aplicação e avaliação no desenvolvimento *Open Source*;
- o método proposto utiliza aspectos e análises de redes sociais e relacionamentos entre os desenvolvedores para realizar as recomendações;
- o processo de avaliação é pautado na performance dos indicados e de suas interações no processo de revisão.

Com estes direcionamentos, o capítulo 4 apresenta a análise exploratória dos datasets escolhidos e embasamento empírico dos métodos propostos.

## 4 METODOS DE RECOMENDAÇÃO

Em convergência com as diretrizes basilares lançadas nos capítulos anteriores, esta seção descreve as análises da colaboração entre desenvolvedores em repositórios “OpenSource” que culminaram na proposta de métodos de recomendação para revisão de código. Além da compreensão das características das redes de interação formadas nos repositórios, foram definidos mecanismos para evitar enviesamento dos resultados e excesso de restrição da validade das propostas a determinadas tecnologias ou projetos.

### 4.1 Redes de desenvolvedores

Interações durante do desenvolvimento de software caracterizam o surgimento de redes sociais de desenvolvedores, denominadas “*social networks*” ou “*developer networks*” [58]. Observar tais estruturas como grafos é o ponto de partida de diversas aplicações deste tipo de análise, como previsão de defeitos [59], triagem de tarefas de manutenção [60] e encontrar os melhores profissionais para responder determinada dúvida [61]. Diversas informações estão disponíveis para a modelagem de tais redes, tanto diretamente das ferramentas de controle versão quanto em ambientes de desenvolvimento mais sofisticados, como o GitHub<sup>1</sup> e o GitLab<sup>2</sup>. Assim, de acordo com o contexto de cada pesquisa, é possível selecionar quais tipos de interação e seus atributos serão utilizados como vértices, arestas e pesos das representações.

### 4.2 Modelagem da rede

Uma rede social pode ser representada como um conjunto de nós conectados entre si. O objetivo é refletir nesta estrutura a relação entre os indivíduos e a forma que eles interagem. Dentre os dados disponíveis, existem diferentes óticas nas quais os dados podem ser modelados e analisados, de acordo com as conclusões esperadas. No caso deste trabalho, o interesse recai nas interações entre desenvolvedores no processo de “*pull request*” e de revisão de código. Durante esta etapa do desenvolvimento, o revisor interage com o autor comentando em partes específicas do código buscando sanar dúvidas, melhorar a implementação ou evitar que mudanças fora do padrão de codificação sejam admitidas no repositório. A figura 3 representa tal interação.

Através da API RESTful<sup>3</sup> do GitHub é possível interagir com o repositório e obter estas informações automaticamente, possibilitando a modelagem da rede.

---

<sup>1</sup> <https://github.com>

<sup>2</sup> <https://gitlab.com>

<sup>3</sup> <https://developer.github.com/v3/>

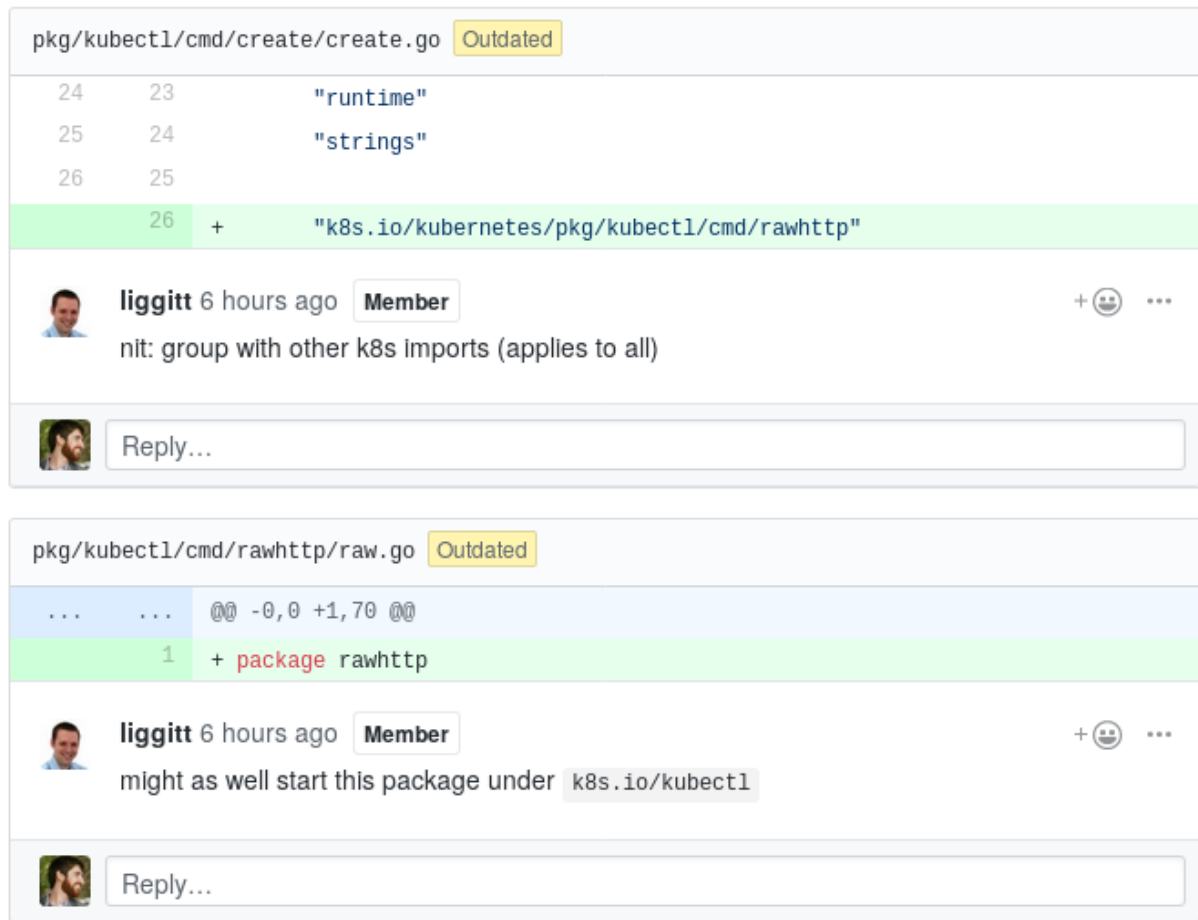


Figura 3 – Interação entre autor e revisor durante a revisão

#### 4.2.1 Principais características

No modelo proposto, os desenvolvedores são os nós e as arestas direcionadas entre eles representam os comentários de revisão durante o “pull request”. Quando um desenvolvedor cria um comentário em uma revisão, um relacionamento entre ele e o autor é criado ou atualizado. Assim, o modelo é um grafo direcionado  $G = (V, E)$  onde  $V = v_0, v_1, \dots, v_n$  representa o conjunto de  $n$  desenvolvedores e  $E$  o conjunto de triplas (arestas)  $e_{ij} = (v_i, v_j, w)$  entre indivíduos  $v_i$  e  $v_j$ . O peso  $w$  é formulado para representar como determinado desenvolvedor influencia outro na perspectiva da revisão. Este valor representa o quão influente é um desenvolvedor sob outros em detrimento do conjunto todo. Ele é calculado considerando cada contribuição  $k$  do desenvolvedor  $v_i$  para o  $v_j$  onde  $contrib(v_i, v_j, v_k)$ . Valores mais altos de  $w$  indicam maior influência de  $v_i$  em  $v_j$ .

Para evitar que interações antigas de desenvolvedores que podem nem estar ativos mais no projeto enviem as análises, tais ocorrências são penalizadas de modo a valer menos do que interações mais novas. Essa situação é comum em projetos “Open Source” [62], além dos casos onde novos desenvolvedores chegam para ocupar as lacunas deixadas neste processo. A figura mostra como esta situação se dá com o tempo, nos gráficos de

contribuições (número de *commits*). Enquanto o maior contribuidor (e criador) do Node.js deixa o projeto em 2014, o segundo maior contribuidor chega e continua até os dias de hoje. O #3 chegou começa sua interação com o projeto mais tarde, enquanto o #4 foi contemporâneo do idealizador do projeto mas se desligou pouco tempo após sua saída.

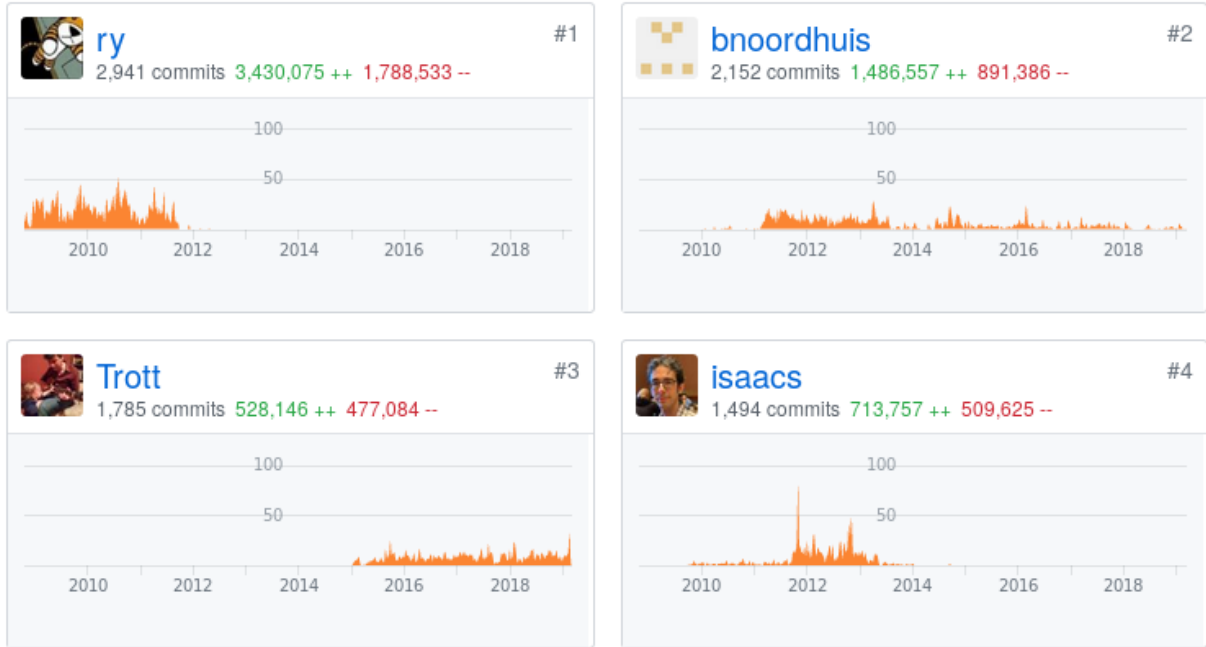


Figura 4 – Troca de participação entre os principais membros do projeto

Assim, o valor de cada comentário  $k$  de  $v_i$  para  $v_j$  decai exponencialmente quanto mais antigo ele se torna. O valor total  $P(v_i, v_j)$  eq:penalization é a soma de todas as contribuições de  $v_i$  para  $v_j$ . A função  $inter(v_i, v_j, k)$  retorna cada interação  $k$  entre os indivíduos  $v_i$  e  $v_j$ .

Com os valores agregados definidos por  $P(v_i, v_j)$ , o peso  $w_{ij}$  é então calculado eq:weight.  $W(v_i, v_j)$  representa qual a participação das interações em direção à  $v_j$  vieram de  $v_i$ . Assim,  $w_{ij}$  é sempre um número entre  $(0, 1]$ . Quanto mais próximo  $w_{ij}$  é de 1, maior a influencia de  $v_i$  sobre  $v_j$ . Desta forma,  $w_{ij} = 1$  significa que  $v_i$  é responsável por todas as interações que  $v_j$  recebeu.

$$P(v_i, v_j) = \sum_{k=1}^n \frac{1}{\exp \text{days}(inter(v_i, v_j, k))} \quad (4.1)$$

$$W(v_i, v_j) = \frac{P(v_i, v_j)}{\sum_{k=1}^n P(v_j, v_k)} \quad (4.2)$$

### 4.3 Análise exploratória da rede proposta

Para avaliar a topologia da rede proposta, é necessário instanciar o modelo utilizando dados de projetos de software reais. Assim é possível compreender se as distribuições, características e comportamentos do grafo são compatíveis com o descrito na literatura e se tal contexto permite conclusões relevantes para os objetivos deste trabalho.

#### 4.3.1 Escolha dos repositórios

A escolha dos repositórios influencia na validade das conclusões no contexto estudado e na relevância dos métodos propostos. Por consequência, as seguintes diretrizes foram traçadas para guiar a busca e avaliação dos projetos cujos dados serão território de avaliação e análise desta pesquisa. São elas:

1. O conjunto de repositórios deve ser composto por projetos diversos em tecnologia;
2. os projetos escolhidos devem ser conhecidos e de popularidade verificável em seus respectivos nichos;
3. cada projeto deve conter quantidades razoáveis de “*pull requests*” e colaboradores ativos;
4. os projetos escolhidos devem fornecer regras claras de contribuição, responsabilidade e governança.
5. os projetos devem estar disponíveis publicamente no GitHub

A diretriz 1 auxilia a diminuir o viés a determinada linguagem, propósito, topologia e outros fatores técnicos. A diretriz 2 possibilita a verificação dos resultados com mais naturalidade e leva à potencialização da diretriz 3, que evita que os resultados sejam enviesados para projetos muito pequenos. A diretriz 4 possibilita que diferentes análises possam ser avaliadas de acordo com particularidades do processo de trabalho de cada repositório. Ao seguir a diretriz 4, é possível garantir que os dados serão acessíveis através da interface homogênea disponível para este fim. Os projetos selecionados constam no top-10 “projetos mais revisados”<sup>4</sup> do GitHub em 2017. A lista é sumarizada na tabela 4 e apresentada com mais detalhes nas subseções posteriores.

##### 4.3.1.1 Node.js

Node.js<sup>5</sup> é um framework JavaScript construído sobre o motor V8 do Google Chrome<sup>6</sup>. Entre suas principais aplicações está a construção de aplicações “server-side”

<sup>4</sup> <https://octoverse.github.com/2017/>

<sup>5</sup> <https://github.com/nodejs>

<sup>6</sup> <https://v8.dev/>



Projeto	Linguagem Principal	“Pull requests”	Estrelas	Contribuidores
Node.js	JavaScript	18.106	62.521	2.490
Kubernetes	Go	49.946	54.849	2.186
Symfony	PHP	20.002	21.088	1.891
Tensorflow	C++	11.258	130.341	2.055

Tabela 2 – Projetos e principais características

assíncronas e não bloqueantes, voltadas para atender um grande número de clientes simultaneamente. É um projeto ativo no GitHub, sendo o décimo projeto JavaScript com mais estrelas e o 24º global<sup>7</sup>. Além disso possui uma estrutura bem definida de governança<sup>8</sup> que dispõe da tomada de decisões importantes, contribuições da comunidade e organização de trabalho. Estas características fazem com que as análises das interações de seus participantes possa ser avaliada de acordo com critério objetivos e respaldados pelos responsáveis pelo projeto.

#### 4.3.1.2 Kubernetes

Kubernetes<sup>9</sup> é um projeto “Open Source” escrito em Go voltado para gerenciar softwares em *containers* distribuídos. O projeto provê mecanismos básicos para implantação, manutenção e escalabilidade destas aplicações. Apresenta políticas de segurança bem definidas e documentação das fases do processo de revisão<sup>10</sup> que ajudam a avaliar as hipóteses levantadas durante este trabalho. Contém praticamente 50.000 “pull requests”, maior número entre os projetos avaliados. É também o campeão em discussões de toda a plataforma GitHub.

#### 4.3.1.3 Symfony

Symfony<sup>11</sup> é um dos mais populares e antigos frameworks PHP, com extensa utilização em aplicações web. Possui políticas claras de contribuição em casos de vulnerabilidades<sup>12</sup> e é a base de diversos *Content management system* (CMS) famosos, como o Drupal e o Joomla.

#### 4.3.1.4 Tensorflow

Tensorflow é o projeto mais popular dos analisados neste trabalho, além de ter o maior número de *forks* do GitHub e ser o quinto com mais contribuidores. A tecnologia

<sup>7</sup> <https://github.com/search?q=stars%3A%3E1&s=stars&type=Repositories>

<sup>8</sup> <https://github.com/nodejs/node/blob/master/GOVERNANCE.md>

<sup>9</sup> <https://github.com/kubernetes/kubernetes>

<sup>10</sup> <https://github.com/kubernetes/community/blob/master/contributors/guide/owners.md>

<sup>11</sup> <https://github.com/symfony/symfony/>

<sup>12</sup> <https://symfony.com/doc/master/contributing/code/security.html>

é desenvolvida em C++ com interface em Python com o objetivo de dar suporte para técnicas de aprendizado de máquina. O processo de revisão é bem documentado e a participação da comunidade são encorajadas diretrizes claras de contribuição, como mostra a figura 5.

## Community profile

Here's how this project compares to [recommended community standards](#).

### Checklist

✓ Description
✓ <a href="#">README</a>
● <a href="#">Code of conduct</a>
✓ <a href="#">Contributing</a>
✓ <a href="#">License</a>
✓ Issue templates
✓ <a href="#">Pull request template</a>

Figura 5 – Documentação para dar suporte à contribuição no Tensorflow

### 4.3.2 Resultados

Os dados foram extraídos através da API do GitHub e carregados em uma instância do Neo4j<sup>13</sup>, um sistema gerenciador de banco de dados orientado a grafos. Para entender como os indivíduos interagem nas redes propostas, algumas análises foram feitas e os principais resultados são detalhados nesta seção.

Ao calcular a distribuição de grau da rede, é possível entender como os indivíduos partilham a responsabilidade das revisões entre eles. No grafo direcionado, esse valor representa com quantos indivíduos um revisor atuou. Por exemplo no Node.js, como mostra a figura 6, é possível observar que um pequeno grupo é responsável pela maior parte das revisões. Este cenário se acentua ainda mais quando a distribuição leva em consideração o peso de cada uma das arestas, como retrata a figura 7. Estas redes são

<sup>13</sup> <https://neo4j.com/>

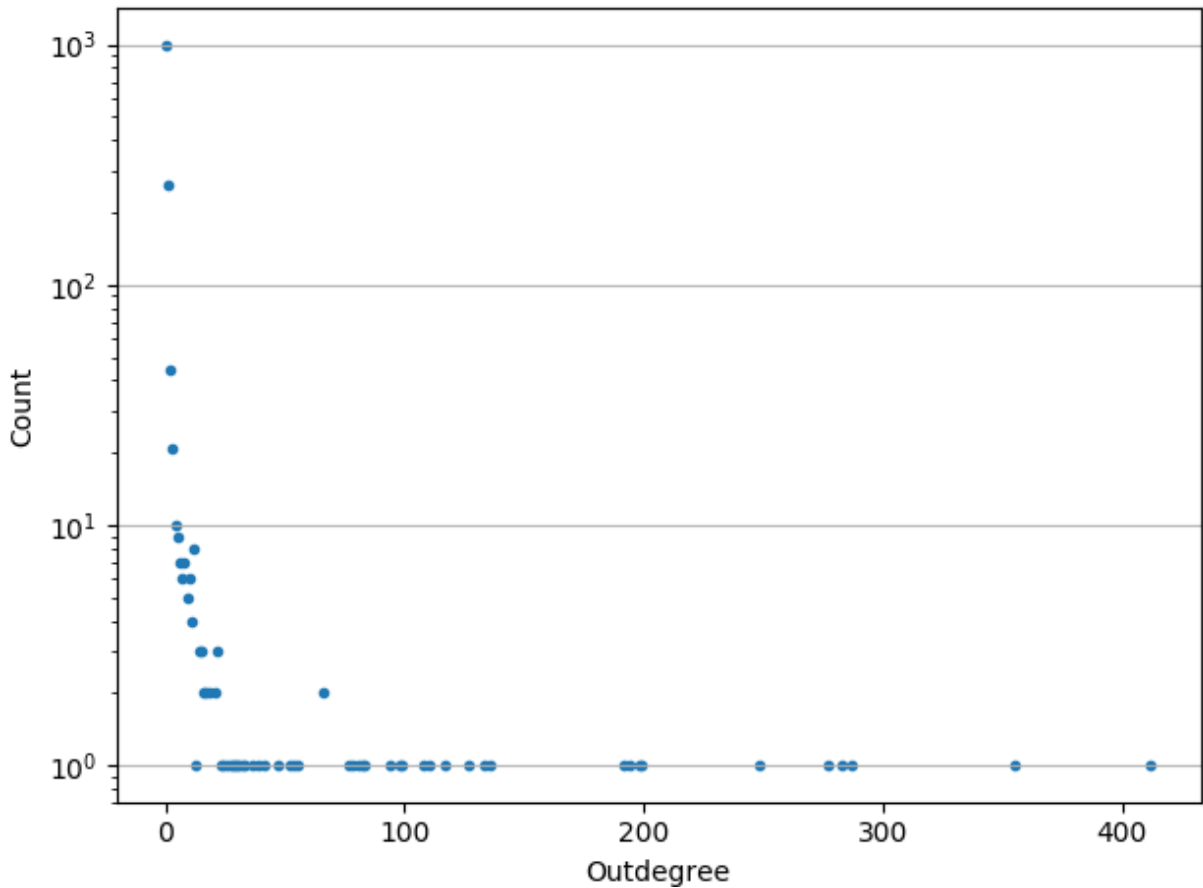


Figura 6 – Distribuição do grau de saída do Node.js

frequentemente classificadas como aleatórias, livres de escala, modulares, entre outras, de acordo com a distribuição do grau [63]. A distribuição é próxima da lei de potência, o que caracterizaria esta rede como livre de escala.

Essa tendência acompanha todos os projetos analisados. Apenas 60% dos usuários revisados no Symfony revisaram outro “*pull request*”, enquanto apenas 4.5% deles interagiram com mais de 10 outros indivíduos. Os 95% que menos interagiram são responsáveis por apenas 6% das interações entre eles. As distribuições encontradas mostram que poucos indivíduos são responsáveis pela maior parte das interações em revisões dos projetos selecionados. Esta estrutura converge com reportado por trabalhos anteriores [64]. Estes especialistas que conduzem a maior parte do processo são podem ser responsáveis pelo projeto como um todo, módulos específicos [65], ou tecnologias/atribuições mais específicas [66]. A identificação automatizada da semântica que fundamenta tais distribuições pode levar aos melhores revisores em situações específicas, aumentando a colaboração na revisão. É com esse objetivo que foi aplicada uma abordagem de clusterização nos grafos instanciados, que será detalhada na próxima seção e utilizada como base para alguns dos métodos de recomendação propostos.

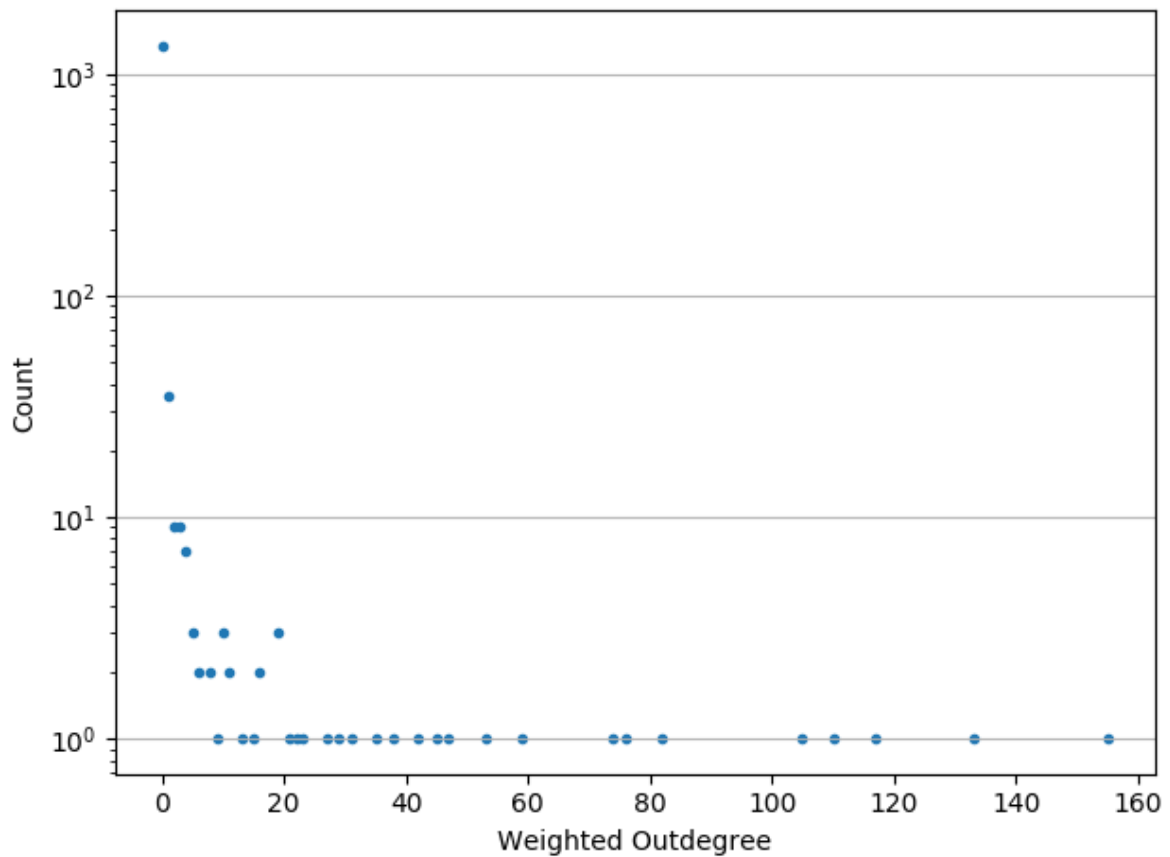


Figura 7 – Distribuição do grau de saída ponderado do Node.js

#### 4.4 Clusterização

Uma das formas de entender melhor a estrutura de uma rede social é através de métodos de clusterização. Neste caso a proximidade dos indivíduos é calculada pelas suas interações, com um método de agrupamento [?]. No perfil de projetos-alvo deste estudo é importante que o método escolhido leve em considerações duas particularidades pertinentes:

1. É preciso que os indivíduos possam se enquadrar em mais de um grupo;
2. o número de grupos (ou *clusters*) deve ser inferido automaticamente.

Estas exigências se dão devido a natureza da organização e forma de trabalho dos projetos *open source*. Especialmente os experts acabam por participar de diversas frentes de trabalho, devido à mão de obra reduzida. Além disso, a quantidade de grupos pode variar drasticamente de um projeto para outro, inclusive dentro do mesmo projeto mas em momentos diferentes do ciclo de vida de desenvolvimento. A próxima seção detalha o algoritmo escolhido e como ele trata as questões levantadas.

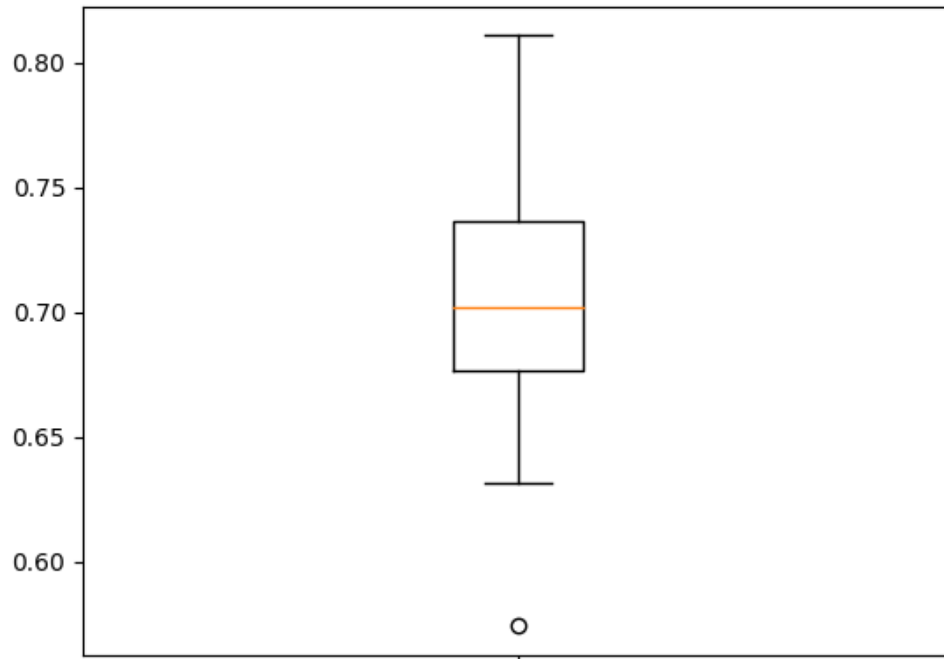


Figura 8 – Silhuetas do Node.js

#### 4.4.1 NetSCAN

NetSCAN [67] é um algoritmo de clusterização baseado em densidade, que estende o conhecido DBSCAN [68]. As principais diferenças são que o NetSCAN considera o direcionamento das arestas e a possibilidade de um indivíduo participar de mais de um grupo. Como é esperado encontrar grupos tênues, informais e com divisões de responsabilidades sutis, NetSCAN atende os objetivos. Os indivíduos *core* de cada cluster são identificados, podendo estes também estarem sobrepostos em outros silos.

NetSCAN espera dois parâmetros, *eps* e *minPts*. O primeiro indica o peso mínimo de uma aresta para ser considerada no processo de agrupamento, enquanto a segunda é o *threshold* que indica a pontuação para um indivíduo ser considerado como *core*. O primeiro permite evitar que nós de baixa relevância influenciem na formação dos grupos, enquanto o segundo permite que apenas indivíduos de alta participação sejam considerados como peças centrais dos silos.

Para proporcionar a melhor escolha de parâmetros, foram testas diferentes combinações em busca de otimizar a silhueta dos grupos [69]. Essa métrica usa a distância entre os nós contidos em um *cluster* para comparar a similaridade entre eles. A ideia é que a proximidade deles seja maior que em relação a membros externos dos grupos. O índice varia entre -1 e 1 onde valores mais altos indicam grupos mais coesos. [70]. Na figura 8 é possível ver a distribuições de silhuetas na clusterização otimizada do Node.js. O número de *clusters* é inferido automaticamente pelo NetSCAN tendo como referência as características da rede.

A processo de otimização foi conduzido para todas os projetos, como apresenta a tabela 3. Estes são os valores utilizados todas as análises descritas posteriormente neste trabalho.

<b>Projeto</b>	<b><i>eps</i></b>	<b><i>minPts</i></b>
Node.js	0.45	10
Kubernetes	0.45	12
Symfony	0.38	14
Tensorflow	0.3	10

Tabela 3 – Valores otimizados pela silhueta de cada projeto

NetSCAN é encapsulado em um plugin para o Neo4j<sup>14</sup>, e pode ser executado diretamente através do Cypher com parâmetros dinamicamente definidos. Este processo é detalhado na seção seguinte.

#### 4.4.2 Execução

A execução dos métodos de clusterização é contida, junto com outras funcionalidades, na ferramenta cuja arquitetura é detalhada na seção 5. Os dados são automaticamente carregados para uma instância Neo4j e o algoritmo aje com os parâmetros debatidos nas seções anteriores. A figura 9 ilustra um dos *clusters* encontrados.

O os nós em azul são os participantes do *cluster*, todos tiveram uma contribuição revisada pelo indivíduo *core* representado em vermelho. A entidade caracterizada em verde é o *cluster* em si, que pode ser utilizado para identificar os seus participantes através da relação do tipo *CONTAINS*.

#### 4.4.3 Avaliação do clusterização

### 4.5 Métodos de recomendação

#### 4.5.1 RandomCore

#### 4.5.2 CoreSameCluster

#### 4.5.3 LabelPartners

<sup>14</sup> <https://github.com/vitorhorta/netscan-neo4j>

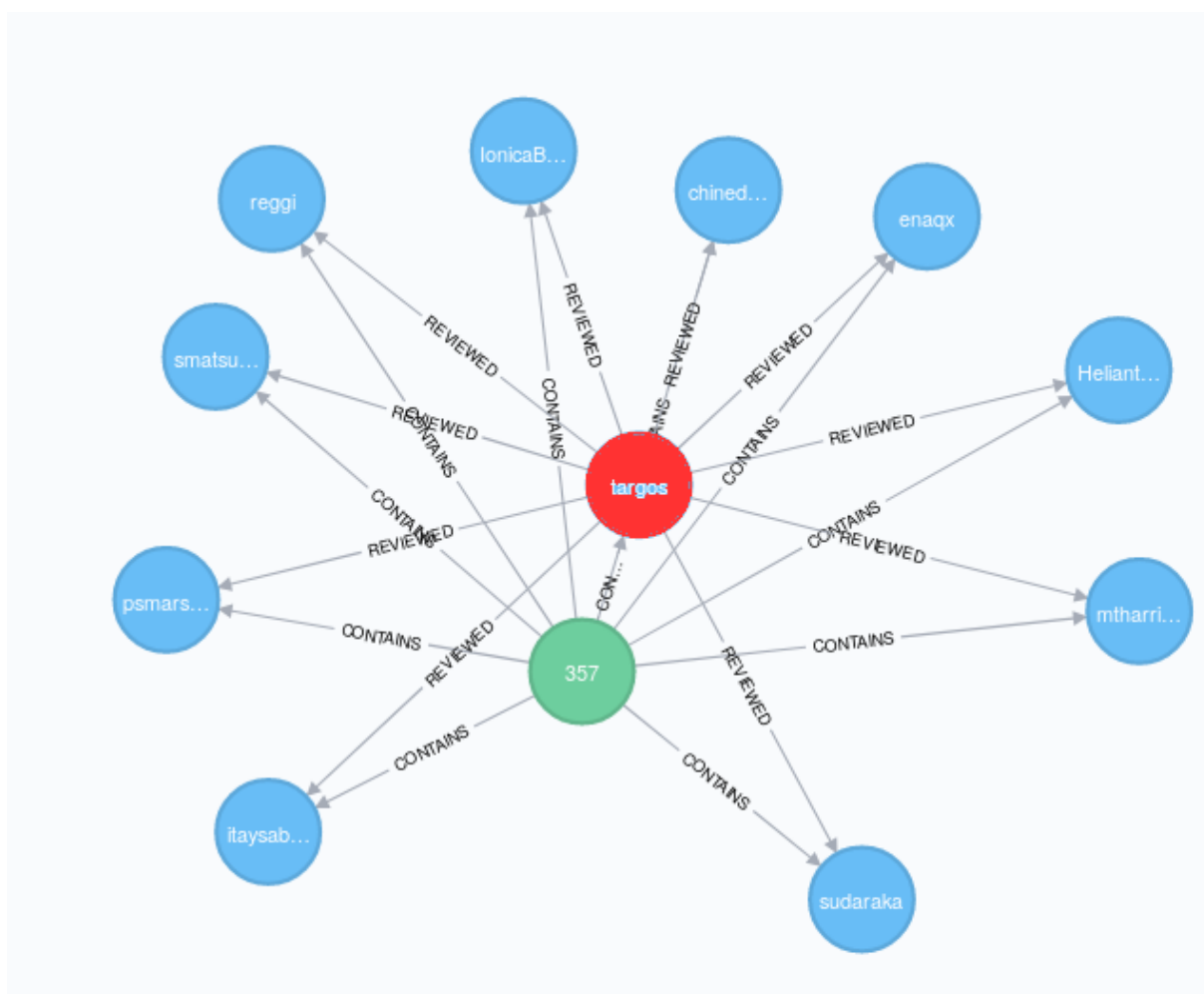


Figura 9 – Representação de um dos *clusters* do Kubernetes

## 5 SOLUÇÃO DESENVOLVIDA

Dadas as variáveis relevantes do revisor que potencializam a colaboração discutidas na seção 3.3, este capítulo apresenta a ferramenta de recomendação para o desenvolvimento distribuído de software (DDS). Levando em consideração os modelos atuais de revisão de código exploradas na seção 2.1 são propostos os seguintes requisitos funcionais da ferramenta:

- Dada uma revisão de código, a ferramenta deve apresentar sugestões de pares técnicos para o o papel de revisor;
- a lista de revisores deve ser estar ordenada por ordem de relevância da indicação;
- os perfis dos indicados devem estar acessíveis (via link).

A ferramenta proposta integra com repositórios de código Git, extrair informações de histórico de desenvolvimento e proximidade do *changeset* em análise com a memória do projeto em relação ao candidato a revisor. O acesso a esses metadados é efetivado através da biblioteca GitPython<sup>1</sup> que fornece uma interface objeto-relacional para a base de dados interna do Git. Os históricos de revisão encontram-se no Github, e são extraídos através das APIs<sup>2</sup> disponibilizadas para este fim. A figura 2 representa os componentes e suas comunicações.

O fluxo de operação da ferramenta foi projetado visando compatibilidade com o processo de revisão, especialmente no modelo *pull based* [1] introduzido na seção 2.1.3. A figura 3 representa a comunicação entre o autor do *changeset* (responsável pela escolha dos revisores), o GitHub e o utilitário de recomendação.

O primeiro passo consiste no autor criar a revisão com os dados relevantes, como por exemplo descrição, link com issues solucionadas, dúvidas e possíveis discussões que estejam relacionadas ao código submetido. A partir daí ele já está em posse do identificador único da revisão, que será utilizada para encontrar o revisor adequado. Ao executar o utilitário, este irá acessar os metadados do Github para encontrar outras revisões de contexto semelhante e extrair informações de revisores que estiveram envolvidos nelas. A partir daí a recomendação é feita e disponibilizada para o revisor, que poderá convidar um subconjunto da lista apresentada para o papel de revisor.

Os requisitos não funcionais estão relacionados às características técnicas da ferramenta que suportam os requisitos funcionais, como por exemplo disponibilidade, portabilidade e manutenibilidade. Dentre tais aspectos, pode-se destacar como mais relevantes:

<sup>1</sup> <http://gitpython.readthedocs.io/en/stable/tutorial.html>

<sup>2</sup> <https://api.github.com>



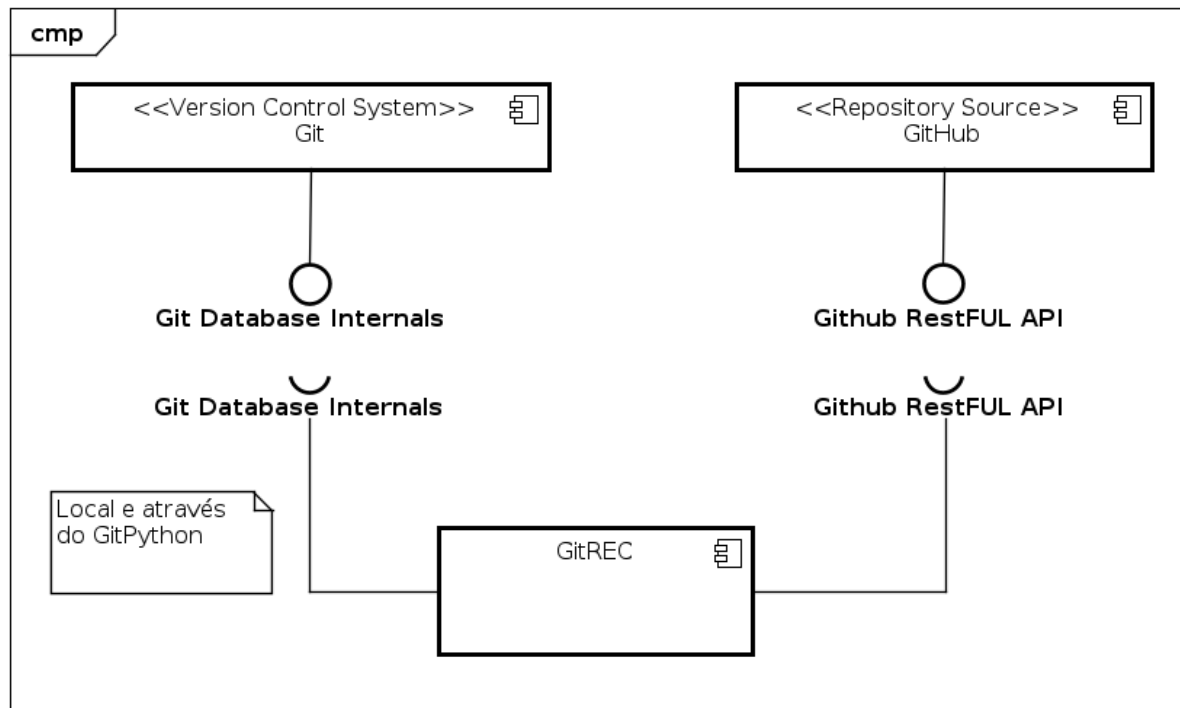


Figura 10 – Diagrama de Componentes da ferramenta

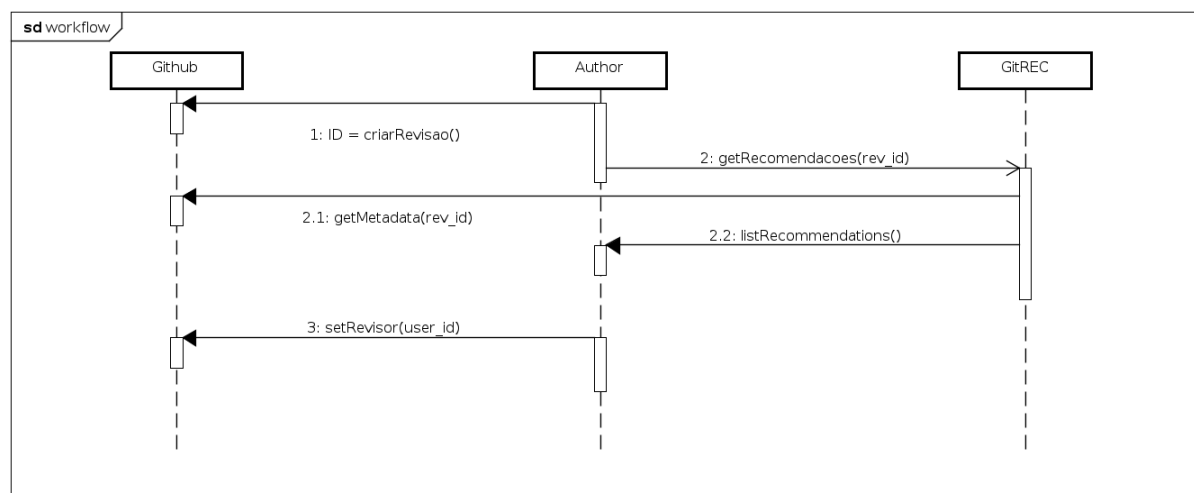


Figura 11 – Diagrama de Sequência da ferramenta

- Interoperabilidade
  - A ferramenta proposta deve-se comunicar o repositório de código fonte e à ferramenta de apoio a revisão de forma automática.
- Manutenibilidade
  - Existem diversas ferramentas de mercado para revisão, além de ferramentas de repositório de código fonte. Por isso a ferramenta deve ser modelada para permitir evoluções futuras que permitam a agregação de novas integrações que sejam importantes em outros domínios, como por exemplo software proprietário.

Para manter o padrão Git e possibilitar a integração futura com diversas IDEs de desenvolvimento, a ferramenta desenvolvida possui interface via linha de comando. através do utilitário `gitrec` é possível acessar todas as funcionalidades previstas. A sintaxe do comando é `gitrec [PULL REQUEST ID]` onde o utilizador fornece o identificador numérico único da revisão para a qual deseja a indicação do revisor. Outros parâmetros são:

---

```
--top=n | -t # Indica n potenciais revisores. O padrao e 3.  
--exclude=username | -u # Exclui um usuario da busca por revisores.  
--version | -v # Mostra a versao do utilitario.  
--help | -h # Imprime esta lista de parametros.  
--verbose | -vv[v] # Modo de debug, imprime todos os logs.
```

---

O utilitário deve ser executado dentro da pasta do projeto. São utilizadas as credenciais de clone/merge do projeto para acesso à API do Github, enquanto o histórico de evolução do código é acessado localmente através da base do Git.

## **6 AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO**

### 6.1 Processo de Avaliação

### 6.2 Apresentação dos resultados

### 6.3 Discussão dos resultados

## **7 CONCLUSÃO**

7.1 Ameaças

7.2 Trabalhos futuros

7.3 Considerações finais

## REFERÊNCIAS

- [1] GOUSIOS, G.; PINZGER, M.; DEURSEN, A. v. An exploratory study of the pull-based software development model. In: ACM. *Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering*. [S.l.], 2014. p. 345–355.
- [2] BOEHM, B.; BASILI, V. R. Software defect reduction top 10 list. *Computer*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, v. 34, n. 1, p. 135–137, 12 2001. ISSN 0018-9162.
- [3] KEMERER, C. F.; PAULK, M. C. The impact of design and code reviews on software quality: An empirical study based on psp data. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 35, n. 4, p. 534–550, 07 2009. ISSN 0098-5589.
- [4] MENEELY, A. et al. An empirical investigation of socio-technical code review metrics and security vulnerabilities. In: . [S.l.: s.n.], 2014. p. 37–44.
- [5] MORALES, R.; MCINTOSH, S.; KHOMH, F. Do code review practices impact design quality? a case study of the qt, vtk, and itk projects. *2015 IEEE 22nd International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER)*, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, v. 00, p. 171–180, 2015.
- [6] BAVOTA, G.; RUSSO, B. Four eyes are better than two: On the impact of code reviews on software quality. In: . [S.l.: s.n.], 2015. p. 81–90.
- [7] BAYSAL, O. et al. The influence of non-technical factors on code review. In: . [S.l.: s.n.], 2013. p. 122–131.
- [8] BOSU, A.; CARVER, J. Impact of developer reputation on code review outcomes in oss projects: An empirical investigation. In: . [S.l.: s.n.], 2014.
- [9] KONONENKO, O. et al. Investigating code review quality: Do people and participation matter? In: . [S.l.: s.n.], 2015. p. 111–120.
- [10] BACCHELLI, A.; BIRD, C. Expectations, outcomes, and challenges of modern code review. In: *Proceedings of the 2013 International Conference on Software Engineering*. [S.l.]: IEEE Press, 2013. (ICSE '13), p. 712–721. ISBN 978-1-4673-3076-3.
- [11] GOUSIOS, G.; STOREY, M.-A.; BACCHELLI, A. Work practices and challenges in pull-based development: The contributor's perspective. In: IEEE. *Software Engineering (ICSE), 2016 IEEE/ACM 38th International Conference on*. [S.l.], 2016. p. 285–296.
- [12] AUDY, J. L. N.; PRIKLADNICKI, R. *Desenvolvimento distribuído de software*. [S.l.]: Elsevier, 2007.
- [13] COSTA, A. M. Nicolaci-da; PIMENTEL, M. Sistemas colaborativos para uma nova sociedade e um novo ser humano. *Sistemas colaborativos*. PIMENTEL, M.; FUKS, H.(Orgs.). Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- [14] CASEY, V. Virtual software team project management. *Journal of the Brazilian Computer Society*, Springer, v. 16, n. 2, p. 83–96, 2010.
- [15] PAGE, S. E. *The difference: How the power of diversity creates better groups, firms, schools, and societies*. [S.l.]: Princeton University Press, 2008.

- [16] PRIKLADNICKI, R. et al. The best software development teams might be temporary. *IEEE Software*, v. 34, n. 2, p. 22–25, Mar 2017. ISSN 0740-7459.
- [17] YU, Y. et al. Who should review this pull-request: Reviewer recommendation to expedite crowd collaboration. In: IEEE. *Software Engineering Conference (APSEC), 2014 21st Asia-Pacific*. [S.l.], 2014. v. 1, p. 335–342.
- [18] XIA, X. et al. Who should review this change?: Putting text and file location analyses together for more accurate recommendations. In: *IEEE 23rd International Conference on Software Analysis, Evolution, and Reengineering (SANER 2016)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 261–270.
- [19] JIANG, J. et al. Who should comment on this pull request? analyzing attributes for more accurate commenter recommendation in pull-based development. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 84, p. 48–62, 2017.
- [20] BIRD, C.; CARNAHAN, T.; GREILER, M. Lessons learned from building and deploying a code review analytics platform. In: . [S.l.: s.n.], 2015. v. 2015, p. 191–201.
- [21] FUKS, H. et al. Do modelo de colaboração 3c à engenharia de groupware. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web-Webmidia*, p. 0–8, 2003.
- [22] BASILI, V. R.; WEISS, D. M. A methodology for collecting valid software engineering data. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, SE-10, no. 6, p. 728–738, 1984.
- [23] SCHETTINO, V. J.; ARAÚJO, M. A. P. Implantação da prática de code review em um modelo de desenvolvimento de software: um estudo de caso. 2017.
- [24] BELLER, M. et al. Modern code reviews in open-source projects: Which problems do they fix? In: . [S.l.: s.n.], 2014. p. 202–211.
- [25] MCINTOSH, S. et al. The impact of code review coverage and code review participation on software quality: A case study of the qt, vtk, and itk projects. In: . [S.l.: s.n.], 2014. p. 192–201.
- [26] FAGAN, M. E. Design and code inspections to reduce errors in program development. *IBM Syst. J.*, IBM Corp., Riverton, NJ, USA, v. 15, n. 3, p. 182–211, 09 1976. ISSN 0018-8670.
- [27] BARR, E. et al. Cohesive and isolated development with branches. *Fundamental Approaches to Software Engineering*, Springer, p. 316–331, 2012.
- [28] GOUSIOS, G. et al. Work practices and challenges in pull-based development: the integrator’s perspective. In: IEEE PRESS. *Proceedings of the 37th International Conference on Software Engineering-Volume 1*. [S.l.], 2015. p. 358–368.
- [29] BAYSAL, O. et al. The secret life of patches: A firefox case study. In: *2012 19th Working Conference on Reverse Engineering*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 447–455. ISSN 1095-1350.
- [30] MENS, T.; CATALDO, M.; DAMIAN, D. The social developer: The future of software development [guest editors’ introduction]. *IEEE Software*, IEEE, v. 36, n. 1, p. 11–14, 2019.

- [31] STADLER, M. et al. Agile distributed software development in nine central european teams: Challenges, benefits, and recommendations. *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)* Vol, v. 11, 2019.
- [32] HERBSLEB, J. D.; MOITRA, D. Global software development. *IEEE software*, IEEE, v. 18, n. 2, p. 16–20, 2001.
- [33] CARMEL, E.; AGARWAL, R. Tactical approaches for alleviating distance in global software development. *IEEE software*, IEEE, v. 18, n. 2, p. 22–29, 2001.
- [34] KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.
- [35] YANG, C. et al. An empirical study of reviewer recommendation in pull-based development model. In: *Proceedings of the 9th Asia-Pacific Symposium on Internetware*. New York, NY, USA: ACM, 2017. (Internetware'17), p. 14:1–14:6. ISBN 978-1-4503-5313-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3131704.3131718>>.
- [36] HANNEBAUER, C. et al. Automatically recommending code reviewers based on their expertise: An empirical comparison. In: *Proceedings of the 31st IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering*. New York, NY, USA: ACM, 2016. (ASE 2016), p. 99–110. ISBN 978-1-4503-3845-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2970276.2970306>>.
- [37] COSENTINO, V.; IZQUIERDO, J. L. C.; CABOT, J. A systematic mapping study of software development with github. *IEEE Access*, v. 5, p. 7173–7192, 2017. ISSN 2169-3536.
- [38] WOHLIN, C. et al. *Experimentation in software engineering*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012.
- [39] PETTICREW, M.; ROBERTS, H. *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*. [S.l.]: John Wiley and Sons, 2008.
- [40] RAHMAN, M. M.; ROY, C. K.; COLLINS, J. A. Correct: code reviewer recommendation in github based on cross-project and technology experience. In: IEEE. *Software Engineering Companion (ICSE-C), IEEE/ACM International Conference on*. [S.l.], 2016. p. 222–231.
- [41] BALACHANDRAN, V. Reducing human effort and improving quality in peer code reviews using automatic static analysis and reviewer recommendation. In: IEEE. *Software Engineering (ICSE), 2013 35th International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 931–940.
- [42] ZANJANI, M. B.; KAGDI, H.; BIRD, C. Automatically recommending peer reviewers in modern code review. *IEEE Transactions on Software Engineering*, IEEE, v. 42, n. 6, p. 530–543, 2016.
- [43] LIAO, Z. et al. Topic-based integrator matching for pull request. *GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference*, p. 1–6, 2017.
- [44] COSTA, C. et al. Tipmerge: recommending experts for integrating changes across branches. In: ACM. *Proceedings of the 2016 24th ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering*. [S.l.], 2016. p. 523–534.

- [45] FEJZER, M.; PRZYMUS, P.; STENCEL, K. Profile based recommendation of code reviewers. *Journal of Intelligent Information Systems*, Aug 2017. ISSN 1573-7675. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10844-017-0484-1>>.
- [46] JIANG, J.; HE, J.-H.; CHEN, X.-Y. Coredevrec: Automatic core member recommendation for contribution evaluation. *Journal of Computer Science and Technology*, Springer, v. 30, n. 5, p. 998–1016, 2015.
- [47] YANG, X. et al. Peer review social network (person) in open source projects. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, v. 99, n. 3, p. 661–670, 2016.
- [48] THONGTANUNAM, P. et al. Who should review my code? a file location-based code-reviewer recommendation approach for modern code review. In: . [S.l.: s.n.], 2015. p. 141–150.
- [49] LEE, J. B. et al. Patch reviewer recommendation in oss projects. In: *2013 20th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*. [S.l.: s.n.], 2013. v. 2, p. 1–6. ISSN 1530-1362.
- [50] XIA, Z. et al. A hybrid approach to code reviewer recommendation with collaborative filtering. In: *2017 6th International Workshop on Software Mining (SoftwareMining)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 24–31.
- [51] YING, H. et al. Earec: leveraging expertise and authority for pull-request reviewer recommendation in github. In: ACM. *Proceedings of the 3rd International Workshop on CrowdSourcing in Software Engineering*. [S.l.], 2016. p. 29–35.
- [52] YU, Y. et al. Reviewer recommender of pull-requests in github. In: *2014 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 609–612. ISSN 1063-6773.
- [53] XIA, X. et al. Who should review this change?: Putting text and file location analyses together for more accurate recommendations. In: IEEE. *Software Maintenance and Evolution (ICSME), 2015 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2015. p. 261–270.
- [54] OUNI, A.; KULA, R. G.; INOUE, K. Search-based peer reviewers recommendation in modern code review. In: *2016 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 367–377.
- [55] FU, C. et al. Expert recommendation in oss projects based on knowledge embedding. In: . [S.l.: s.n.], 2017. p. 149–155.
- [56] BOSU, A.; GREILER, M.; BIRD, C. Characteristics of useful code reviews: An empirical study at microsoft. In: *Proceedings of the 12th Working Conference on Mining Software Repositories*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2015. (MSR '15), p. 146–156. ISBN 978-0-7695-5594-2. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2820518.2820538>>.
- [57] RAHMAN, M. M.; ROY, C. K.; KULA, R. G. Predicting usefulness of code review comments using textual features and developer experience. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Mining Software Repositories*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2017. (MSR '17), p. 215–226. ISBN 978-1-5386-1544-7. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/MSR.2017.17>>.



- [58] LOPEZ-FERNANDEZ, L. et al. Applying social network analysis to the information in cvs repositories. In: IET. *International workshop on mining software repositories*. [S.l.], 2004. p. 101–105.
- [59] MENEELY, A. et al. Predicting failures with developer networks and social network analysis. In: ACM. *Proceedings of the 16th ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of software engineering*. [S.l.], 2008. p. 13–23.
- [60] ZHANG, T.; LEE, B. How to recommend appropriate developers for bug fixing? In: *2012 IEEE 36th Annual Computer Software and Applications Conference*. [S.l.: s.n.].
- [61] LI, B.; KING, I. Routing questions to appropriate answerers in community question answering services. In: *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*. New York, NY, USA: ACM, 2010. (CIKM '10), p. 1585–1588. ISBN 978-1-4503-0099-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1871437.1871678>>.
- [62] FOGEL, K. *Producing open source software: How to run a successful free software project*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2005.
- [63] CROSS, R. L.; CROSS, R. L.; PARKER, A. *The hidden power of social networks: Understanding how work really gets done in organizations*. [S.l.]: Harvard Business Press, 2004.
- [64] BERGQUIST, M.; LJUNGBERG, J. The power of gifts: organizing social relationships in open source communities. *Information Systems Journal*, Wiley Online Library, v. 11, n. 4, p. 305–320, 2001.
- [65] WIKI, M. *Contribute - Mozilla Wiki*. 2018. Accessed 2018-09-17.
- [66] WIKI, D. *Teams - Debian Wiki*. 2018. Accessed 2018-09-17.
- [67] HORTA, V. et al. Analyzing scientific context of researchers and communities by using complex network and semantic technologies. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, v. 89, p. 584–605, 2018.
- [68] ESTER, M. et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In: *Kdd*. [S.l.: s.n.], 1996. v. 96, n. 34, p. 226–231.
- [69] TAN, P.-N.; STEINBACH, M.; KUMAR, V. *Introduction to data mining. 1st*. [S.l.]: Boston: Pearson Addison Wesley. xxi, 2005.
- [70] ALMEIDA, H. et al. Is there a best quality metric for graph clusters? In: SPRINGER. *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*. [S.l.], 2011. p. 44–59.