

Iury Rogério Sales de Araújo

Busca de Serviços Baseada em Perfis Sociais de Objetos em Redes SIoT



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

João Pessoa
2019

Busca de Serviços Baseada em Perfis Sociais de Objetos em Redes SIoT

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Área de concentração: Computação Distribuída

Orientador: Fernando Menezes Matos

Coorientador: Eudisley Gomes dos Anjos

João Pessoa

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A663b Araújo, Iury Rogério Sales de.

Busca de Serviços Baseada em Perfis Sociais de Objetos em Redes SIoT / Iury Rogério Sales de Araújo. - João Pessoa, 2019.

106 f. : il.

Orientação: Fernando Menezes Matos.

Coorientação: Eudisley Gomes dos Anjos.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CI.

1. Internet das Coisas. 2. Social Internet of Things. 3. Busca de Serviços. 4. Gerenciamento de Serviços. I. Matos, Fernando Menezes. II. Anjos, Eudisley Gomes dos. III. Título.

UFPB/BC

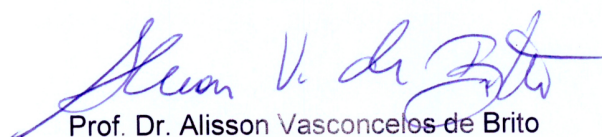


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

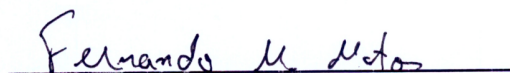


Ata da Sessão Pública de Defesa de Dissertação de
Mestrado de Iury Rogério Sales de Araújo, candidato ao
título de Mestre em Informática na Área de Sistemas de
Computação, realizada em 30 de agosto de 2019.

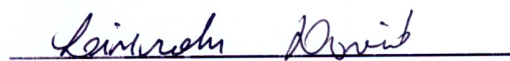
1 Aos trinta dias do mês de agosto, do ano de dois mil e dezenove, às dezessete horas, no
2 Centro de Informática da Universidade Federal da Paraíba, em Mangabeira, reuniram-se os
3 membros da Banca Examinadora constituída para julgar o Trabalho Final do Sr. Iury Rogério
4 Sales de Araújo, vinculado a esta Universidade sob a matrícula nº 20171006152, candidato
5 ao grau de Mestre em Informática, na área de "Sistemas de Computação", na linha de
6 pesquisa "Computação Distribuída", do Programa de Pós-Graduação em Informática, da
7 Universidade Federal da Paraíba. A comissão examinadora foi composta pelos professores:
8 Fernando Menezes Matos (PPGI-UFPB) Orientador e Presidente da Banca, Lincoln David
9 Nery e Silva (UFPB), Examinador Externo ao Programa, Eudisley Gomes dos Anjos (UFPB),
10 Examinador Externo ao Programa, Marco Paulo Amorim Vieira (UC), Examinador Externo à
11 Instituição. Dando início aos trabalhos, o Presidente da Banca cumprimentou os presentes,
12 comunicou aos mesmos a finalidade da reunião e passou a palavra ao candidato para que o
13 mesmo fizesse a exposição oral do trabalho de dissertação intitulado: "Busca de Serviços
14 Baseada em Perfis Sociais de Objetos em Redes IoT". Concluída a exposição, o candidato
15 foi arguido pela Banca Examinadora que emitiu o seguinte parecer: "**aprovado**". Do ocorrido,
16 eu, Alisson Vasconcelos de Brito, Vice-Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
17 Informática, lavrei a presente ata que vai assinada por mim e pelos membros da banca
18 examinadora. João Pessoa, 30 de agosto de 2019.


Prof. Dr. Alisson Vasconcelos de Brito

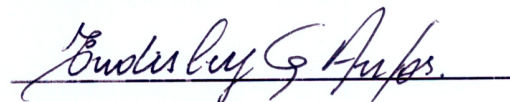
Prof. Dr. Fernando Menezes Matos
Orientador (PPGI-UFPB)



Prof. Dr. Lincoln David Nery e Silva
Examinador Externo ao Programa (UFPB)



Prof. Dr. Eudisley Gomes dos Anjos
Examinador Externo ao Programa (UFPB)



Prof. Dr. Marco Paulo Amorim Vieira
Examinador Externo à Instituição (UC)



*Este trabalho é dedicado a Maria dos Anjos Silva,
minha querida avó, com quem não posso mais conversar.*

*“We can only see a short distance ahead, but we can see
plenty there that needs to be done.”
(Alan Turing)*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Maria Aurizete, minha amada mãe que tem sido um dos meus maiores apoios durante essa árdua jornada do mestrado, sem você eu não estaria aqui. Em segundo aos meus orientadores Fernando Matos e Eudisley dos Anjos, obrigado por toda a paciência que vocês me demonstraram durante esse processo e a empatia pelas condições que afetaram essa trajetória, aprendi demais com vocês dois e espero um dia conseguir ser tão bom orientador quanto vocês.

Agradeço ao meus amigos de trabalho por todo o encorajamento que me foi oferecido, as palavras sábias e por proporcionar um ótimo local de trabalho. Desses agradeço sobretudo a minha grande amiga e chefe Ludinaura Regina por todas as oportunidades, conselhos e elogios durante esses nossos anos de trabalho, saiba que seu trabalho é inestimável para nossa cidade e merece sempre aplausos.

Agradeço também a minha digníssima e ilustríssima amiga Sheila Barreto por todo o carinho, conhecimento e amizade que me demonstrou nesse curto espaço de tempo que nos conhecemos, com toda certeza você é uma das pessoas que me inspira a ir mais longe. Agradeço também a todos os meus amigos que estão comigo todos os dias formando a minha querida família, vocês sempre me apoiaram em todos os meus sonhos e por isso sempre serei grato. Em especial gostaria de agradecer a minha amiga Jessica Maciel por todo o apoio e ainda mais pelo seus exemplos de superação. Sabemos de todas as nossas dificuldades durante mais essa etapa de nossas vidas, incluindo este tenebroso ano, mas tenho toda a certeza isso é só uma fase e que vamos atravessar tudo isso.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer a Mikaelly Pedrosa que me ajudou a desenvolver todo esse projeto, sem você nada desse trabalho seria possível. Muito obrigado pelas noites mal dormidas, as viradas nos laboratório e até mesmo os momentos de medo de sermos assaltados. Todos os resultados desse trabalho são exemplos da nossa dedicação e luta pelo avanço da ciência. Obrigado por tudo.

Resumo

O crescimento acelerado do número de dispositivos conectados à Internet provocou um grande impacto na infraestrutura da Internet das Coisas (IoT), gerando desafios para o gerenciamento de serviços e de objetos, tais como: escalabilidade, heterogeneidade e volume de dados transferidos. Um novo paradigma, chamado de Social Internet of Things (SIoT), foi proposto para solucionar os desafios enfrentados pela IoT, introduzindo o conceito de redes sociais para organizar e gerenciar objetos e serviços, proporcionando assim melhorias nas funcionalidades da rede. Por ser um novo paradigma, a SIoT apresenta desafios para adaptação das funcionalidades do *middleware* IoT, como a busca de serviços, a um novo contexto social. Outro desafio é integrar o potencial oferecido pelas redes sociais às funcionalidades do *middleware*, como a abstração dos objetos por meio das suas características e informações, as quais podem ser representadas através de perfis sociais. Tais perfis oferecem a possibilidade de criar e utilizar relacionamentos entre objetos para auxiliar no gerenciamento dos serviços, tais como a busca. Este trabalho propõe um método de busca baseado nas características e informações dos objetos contidas em seus perfis sociais para auxiliar no gerenciamento de serviços em redes IoT. Testes realizados mostraram a eficácia do método de busca proposto ao encontrar objetos que atendam às requisições de forma mais satisfatória quando comparadas aos da literatura.

Palavras-chave: Internet das Coisas, *Social Internet of Things*, Busca de Serviços, Gerenciamento de Serviços.

Abstract

The rapid growth in the number of Internet-connected devices has had a major impact on the Internet of Things (IoT) infrastructure. This creates several challenges for service and object management, such as scalability, heterogeneity, and the massive data transferred. A new paradigm, called Social Internet of Things (SIoT), has been proposed to address the challenges facing IoT, introducing the concept of social networking to organize and manage objects, thus providing improvements to the network functionalities. As a new paradigm, SIoT presents challenges to adapt functionalities from the IoT middleware, as the service discovery, to a new social context. Another challenge is to integrate the potential offered by social networks into the middleware features, like the abstraction of objects through their characteristics and information, which can be represented by the social profiles. Such profiles offer the ability to create and use relationships between objects to assist in the management of services, like the discovery. This research proposes a service discovery method based on the characteristics and information of objects contained in their social profiles to assist the service management in IoT networks. Tests performed showed the effectiveness of the proposed discovery method in finding objects that meet the requests more satisfactorily when compared to those in the literature.

Keywords: Internet of Things, Social Internet of Things, Service Discovery, Service Management.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Arquitetura do <i>middleware</i> IoT baseado em SOA	30
Figura 2 – Arquitetura do servidor SIoT	33
Figura 3 – Exemplos de aplicações na Social Internet	35
Figura 4 – Grafos representando relacionamentos da rede SIoT.	38
Figura 5 – Busca de serviços através de relacionamentos de uma rede SIoT.	40
Figura 6 – Arquitetura de um SVO na plataforma Lysis.	42
Figura 7 – Busca de serviços baseada em similaridade de objetos	46
Figura 8 – Método de busca de serviços na rede SIoT	50
Figura 9 – Requisição de busca de serviços e seus atributos.	51
Figura 10 – Funcionamento do método BPS.	52
Figura 11 – Exemplo de Matriz de adjacência dos relacionamentos do <i>dataset</i>	56
Figura 12 – Distribuição dos valores das características e informações dos objetos.	58
Figura 13 – Exemplo da busca de um serviço através da lista de similaridade.	60
Figura 14 – Exemplo da criação de novas conexões para o segundo ciclo de testes.	66
Figura 15 – Exemplo da criação de conexões levando a uma rede menos conectada.	66
Figura 16 – Tempos de busca no relacionamento <i>Parental</i> para o primeiro ciclo	70
Figura 17 – Valores do PCRMR para o relacionamento <i>Parental</i> no primeiro ciclo.	72
Figura 18 – Médias do SDT no relacionamento <i>Co-location</i> para o primeiro ciclo	73
Figura 19 – Valores do PCRMR para o relacionamento <i>Co-location</i> no primeiro ciclo.	74
Figura 20 – Médias do SDT no relacionamento <i>Ownership</i> para o primeiro ciclo	75
Figura 21 – Valores do PCRMR para o relacionamento <i>Ownership</i> no primeiro ciclo.	77
Figura 22 – Médias do SDT no relacionamento <i>Social</i> para o primeiro ciclo	77
Figura 23 – Valores do PCRMR para o relacionamento <i>Social</i> no primeiro ciclo.	79
Figura 24 – Médias do SDT no relacionamento <i>Parental</i> durante o segundo ciclo.	81
Figura 25 – Valores do PCRMR para o relacionamento <i>Parental</i> no segundo ciclo.	83
Figura 26 – Médias do SDT no relacionamento <i>Co-location</i> durante o segundo ciclo.	84
Figura 27 – Valores do PCRMR para o relacionamento <i>Co-location</i> no segundo ciclo.	85
Figura 28 – Médias do SDT no relacionamento <i>Ownership</i> durante o segundo ciclo.	86

Figura 29 – Valores do PCRMR para o relacionamento <i>Ownership</i> no segundo ciclo.	87
Figura 30 – Médias do SDT no relacionamento <i>Social</i> durante o segundo ciclo. . . .	88
Figura 31 – Valores do PCRMR para o relacionamento <i>Social</i> no segundo ciclo. . . .	89

Lista de tabelas

Tabela 1 – Atributos dos perfis sociais e faixa e valores.	57
Tabela 2 – Métricas definidas para avaliar os métodos de busca.	62
Tabela 3 – Distribuição dos tipos de dispositivos no <i>dataset</i>	63
Tabela 4 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento <i>Parental</i> no primeiro ciclo.	71
Tabela 5 – Médias do PCR e PCRM R para o relacionamento <i>Parental</i> no primeiro ciclo.	71
Tabela 6 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento <i>Co-location</i> no primeiro ciclo.	73
Tabela 7 – Médias do PCR e PCRM R para o relacionamento <i>Co-location</i> no primeiro ciclo.	74
Tabela 8 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento <i>Ownership</i> no primeiro ciclo.	76
Tabela 9 – Médias do PCR e PCRM R para o relacionamento <i>Ownership</i> no primeiro ciclo.	76
Tabela 10 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento <i>Social</i> no primeiro ciclo.	78
Tabela 11 – Médias do PCR e PCRM R para o relacionamento <i>Social</i> no primeiro ciclo.	78
Tabela 12 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento <i>Parental</i> no segundo ciclo.	82
Tabela 13 – Médias do PCR e PCRM R para o relacionamento <i>Parental</i> no segundo ciclo.	83
Tabela 14 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento <i>Co-location</i> no segundo ciclo.	84
Tabela 15 – Médias do PCR e PCRM R para o relacionamento <i>Co-location</i> no segundo ciclo.	85
Tabela 16 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento <i>Ownership</i> no segundo ciclo.	86

Tabela 17 – Médias do PCR e PCRM R para o relacionamento <i>Ownership</i> no se- gundo ciclo.	87
Tabela 18 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento <i>Social</i> no segundo ciclo.	88
Tabela 19 – Médias do PCR e PCRM R para o relacionamento <i>Social</i> no segundo ciclo.	89
Tabela 20 – Relação do número de objetos com conexões criadas artificialmente. . .	91
Tabela 21 – Tempos de busca no relacionamento <i>Parental</i> para o primeiro ciclo . .	101
Tabela 22 – Tempos de busca no relacionamento <i>Co-location</i> para o primeiro ciclo .	102
Tabela 23 – Tempos de busca no relacionamento <i>Ownership</i> para o primeiro ciclo .	102
Tabela 24 – Tempos de busca no relacionamento <i>Social</i> para o primeiro ciclo . . .	102
Tabela 25 – Tempos de busca no relacionamento <i>Parental</i> para o segundo ciclo . .	103
Tabela 26 – Tempos de busca no relacionamento <i>Co-location</i> para o segundo ciclo .	103
Tabela 27 – Tempos de busca no relacionamento <i>Ownership</i> para o segundo ciclo .	103
Tabela 28 – Tempos de busca no relacionamento <i>Social</i> para o segundo ciclo . . .	104

Lista de siglas

BPS Busca de Serviços por Perfil Social

SC Composição de Serviços

OC Controle do Usuário

Profiling Configurador de Informações dos Objetos

PCR Percentage of Completed Requisitions

SD Descoberta de Serviços

RM Gerenciador de Relacionamentos

TM Gerenciador de Confiabilidade

ID Mngt Gerenciamento de ID

GSM *Global System for Mobile Communications*

IoT *Internet of Things*

LS Lista de Serviços

LR Lista de Requisitos

OR Objeto Requerente

P2P *Peer-to-Peer*

PCRMR Percentage of Completed Requisitions that Meet the Requirements

NRO Number of Returned Objects

ROMR Returned Objects that Meet the Requirements

SIoT *Social Internet of Things*

SOA *Service Oriented Architecture*

SVO *Social Virtual Object*

SOCIALIZE *Service Oriented Assisted Living Infrastructure*

SDT *Service Discovery Time*

UMTS *Universal Mobile Telecommunication System*

URI *Uniform Resource Identifier*

Sumário

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	Objetivos	27
1.2	Estrutura do Trabalho	27
2	REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1	Internet das Coisas	29
2.2	<i>Social Internet of Things</i>	31
2.2.1	Exemplos de Aplicação	34
2.2.2	Rede Social de Objetos	36
2.3	Busca de Serviços	38
3	ESTADO DA ARTE	41
3.1	Características e Informações dos Objetos	41
3.2	Busca de Serviços	44
4	BUSCA DE SERVIÇOS BASEADA NOS PERFIS SOCIAIS DOS OBJETOS	49
4.1	Método BPS	50
4.2	Algoritmo do Método BPS	52
5	IMPLEMENTAÇÃO E TESTES	55
5.1	<i>Dataset</i> de Objetos	55
5.2	Implementação dos Métodos	57

5.2.1	Chen et al.	59
5.2.2	Similaridade de Objetos	59
5.2.3	BPS	60
5.3	Cenários de Avaliação	61
5.3.1	Métricas de Análise	61
5.3.2	Execução dos Testes	64
6	RESULTADOS	69
6.1	Primeiro Ciclo	69
6.1.1	Relacionamento <i>Parental</i>	70
6.1.2	Relacionamento <i>Co-location</i>	72
6.1.3	Relacionamento <i>Ownership</i>	74
6.1.4	Relacionamento <i>Social</i>	75
6.1.5	Análise Geral dos Relacionamentos	77
6.2	Segundo Ciclo	80
6.2.1	Relacionamento <i>Parental</i>	81
6.2.2	Relacionamento <i>Co-location</i>	82
6.2.3	Relacionamento <i>Ownership</i>	84
6.2.4	Relacionamento <i>Social</i>	86
6.2.5	Análise Geral dos Relacionamentos	88
6.3	Análise Geral dos Ciclos	90
7	CONCLUSÃO	93
	REFERÊNCIAS	95

APÊNDICES 99

APÊNDICE A	– TABELAS DOS RESULTADOS	101
A.1	Primeiro Ciclo	101
A.1.1	Relacionamento <i>Parental</i>	101
A.1.2	Relacionamento <i>Co-location</i>	102

A.1.3	Relacionamento <i>Ownership</i>	102
A.1.4	Relacionamento <i>Social</i>	102
A.2	Segundo Ciclo	103
A.2.1	Relacionamento <i>Parental</i>	103
A.2.2	Relacionamento <i>Co-location</i>	103
A.2.3	Relacionamento <i>Ownership</i>	103
A.2.4	Relacionamento <i>Social</i>	104

Introdução

Gradativamente mais objetos ao nosso redor adquirem a capacidade de se conectar a Internet, seja para executar ações, adquirir e transmitir dados ou realizar processamento. Essa capacidade facilitou a colaboração entre objetos, fornecendo assim uma variedade maior de funcionalidades para as aplicações (SANTOS et al., 2016). Esse cenário é possível através da implementação do paradigma da *Internet of Things* (IoT). O conceito de IoT é a presença pervasiva ao nosso redor de "coisas" ou objetos, que através de esquemas de endereçamento único, estão possibilitados a interagir entre si e cooperar para alcançar diversos objetivos específicos (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). Outros autores definem IoT como uma infraestrutura global para a sociedade da informação, disponibilizando serviços avançados através da interconexão das "coisas", sejam elas físicas ou virtuais, baseando-se em tecnologias de comunicação e identificação, existentes ou em evolução (KAFLE; FUKUSHIMA; HARAI, 2016).

O crescente número de objetos que se conectam a Internet vêm se tornando uma preocupação para a IoT. Segundo (EVANS, 2011), o número de objeto conectados já é maior que a população mundial e deve chegar a 50 bilhões de objetos até 2020. Esse crescimento atinge diretamente o gerenciamento da rede quanto a sua escalabilidade e a heterogeneidade dos objetos, dificultando a execução de tarefas importantes do paradigma (HUH; CHO; KIM, 2017). O gerenciamento de serviços também é prejudicado com o aumento do número de objetos, isso acontece pois um objeto pode fornecer um ou mais serviços diferenciados, dessa forma o total de serviços na rede pode facilmente duplicar em relação ao dos objetos. Componentes da arquitetura IoT que lidam com serviços, como os de busca e composição, sofrem diretamente com esses problemas (MOHAMMED; ESMAIL, 2015). Uma exorbitante quantidade de objetos na rede IoT também provoca desafios relacionados ao gerenciamento da segurança e privacidade dos objetos da rede. Isso ocorre por meio do aumento da possibilidade de ataques a dispositivos mais vulneráveis e também pelo aumento do fluxo de dados pessoais que estão sendo compartilhados para o fornecimento de funcionalidades pelas aplicações (LEE; LEE, 2015). Como forma

de solucionar esses problemas foi proposta a utilização dos conceitos de redes sociais para a organização dos objetos e subsequentemente dos serviços oferecidos, derivando-se assim um novo paradigma chamado de *Social Internet of Things (SIoT)* (ATZORI; IERA; MORABITO, 2011; ATZORI et al., 2012; ATZORI; CARBONI; IERA, 2014).

A SIoT introduz a utilização de uma rede social para a organização de objetos, nessa rede cada objeto é visto como um ser único e provedor de serviços, com potencial para forma “amizades” com outros objetos através de relacionamentos (ATZORI; IERA; MORABITO, 2011). Os relacionamentos se espelham nas relações humanas e suas possibilidades, por exemplo humanos podem formar um relacionamento de trabalho quando executam uma tarefa juntos ou formam um relacionamento de localização quando moram no mesmo bairro, desse mesmo modo os objetos também podem formar esses tipos de relacionamentos. Sendo eles utilizados pelo paradigma SIoT para fornecer diversas funcionalidades para as aplicações.

A partir da rede social de objetos gerada é possível gerenciar a escalabilidade da rede, a heterogeneidade de objetos e a transmissão maciça de dados, como já é realizada pelas redes sociais humanas (ATZORI; CARBONI; IERA, 2014). Além disso a organização dos objetos através de redes sociais beneficia o gerenciamento da segurança, privacidade e confiabilidade dos dispositivos conectados a rede (NITTI; GIRAU; ATZORI, 2013; WANG et al., 2016; BRITTES; JR; WILLE, 2017). Como a SIoT, geralmente, herdar a arquitetura estabelecida para o *middleware* IoT, a maioria dos componentes precisam ser readaptados para realizar suas tarefas por meio da rede social, além disso novos componentes necessitam ser criados para lidar com o gerenciamento da rede (ATZORI et al., 2012). Como por exemplo as funcionalidades de busca e composição de serviços que são estratégicas para a arquitetura SIoT, e ainda assim poucas pesquisas preocupam-se em criar métodos para o funcionamento dos mesmos no contexto social, que agora, estão inseridos.

Outro desafio da área é utilizar todo o potencial que foi aberto pelas redes sociais, principalmente em relação a representação dos objetos na rede. Cada objeto é um ser único com características e informações próprias que podem ser utilizadas para melhorar diversas funcionalidades e componentes do *middleware* SIoT. Dessa forma é importante pensar numa representação mais ativa desse objetos na rede, de forma que no futuro eles possam tomar atitudes autônomas de interação, consumindo e emitindo informações para os objetos amigos através dos seus perfis sociais na rede (ORTIZ et al., 2014).

Utilizando a contextualização e os desafios apresentados sobre SIoT, este trabalho propõe melhorar a funcionalidade de busca de serviços em uma rede SIoT por meio da criação de um método para a busca de serviços SIoT, que utilize as características e informações contidas nos perfis sociais dos objetos para melhorar a sua eficiência. Esse método recebe requisições da camada de aplicação, contendo o requente da solicitação de busca,

os serviços requeridos e os requisitos, sendo esses últimos utilizados para determinar se um objeto pode prover os serviços requeridos. Isso é realizado a partir da comparação dos requisitos com as características e informações do objeto. A análise dessas características e informações tende a proporcionar melhorias no tempo de busca de serviços e no número de objetos retornados a requisição. Os ganhos de eficiência para a busca de serviços em redes SIoT, obtidos pelo o método proposto neste trabalho, serão avaliados e comparados em relação a outros métodos da literatura que também propõe soluções para a busca de serviços, sendo essa avaliação realizada a partir da definição de algumas métricas de análise para esse contexto.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é auxiliar no gerenciamento de serviços em redes SIoT propondo um método de busca utilizando o paradigma SIoT. Este método de busca considera as características e informações contidas nos perfis sociais dos objetos para selecioná-los, buscando assim selecionar aqueles que atendem de forma mais satisfatória os serviços requeridos. A partir desta perspectiva, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- ❑ Definir as características e informações presentes nos perfis sociais dos objetos. É necessário, para a realização de testes, definir quais características e informações podem ser extraídas dos dispositivos para compor os seus perfis sociais na rede SIoT.
- ❑ Desenvolver o método de busca baseado nos perfis dos objetos. Este método precisa está de acordo com as ideias identificadas na literatura para a busca de serviços em SIoT, contudo também deve oferecer melhorias em relação ao atual estado da arte.
- ❑ Testar e avaliar os resultados obtidos do método proposto com outras soluções da literatura, por meio das métricas de análise, para identificar os ganhos de eficiência. Os resultados obtidos só terão sentido se analisados em conjunto de outras soluções da literatura para a busca de serviços de forma a identificar melhorias e defeitos da solução proposta.

1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em sete capítulos. O Capítulo 2 disserta sobre os principais conceitos necessários para o entendimento desse trabalho, apresentando informações sobre IoT, SIoT e sobre a busca de serviços. O Capítulo 3 expõe as pesquisas já realizadas na área, sendo dividido em duas seções uma para as pesquisas que utilizam o

conteúdo presente nos perfis sociais dos objetos e outra para as pesquisas sobre busca de serviços. Em seguida o Capítulo 4 apresenta a proposta deste trabalho para a melhoria da busca de serviços em uma rede SIoT. Logo após o Capítulo 5 apresenta a implementação da proposta, discute sobre os cenários de avaliação e define as métricas de análise. O Capítulo 6 apresenta e discute sobre os resultados obtidos pelos testes. Por fim o Capítulo 7 expõe as conclusões do trabalho e os possíveis trabalhos futuros.

Referencial Teórico

Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos necessários para compreender a extensão da pesquisa realizada neste trabalho e suas implicações nas áreas de pesquisa correlatas apresentadas neste capítulo. A seguir, nas próximas seções, serão discutidos os conceitos de internet das coisas, *social internet of things*, busca de serviços e redes sociais.

2.1 Internet das Coisas

A internet das coisas (IoT) é um paradigma que propõe a comunicação de objetos, chamados também de “coisas”, através da Internet. A Internet se comporta como uma rede única que viabiliza o controle remoto de objetos, sua utilização como provedores de funcionalidades e a cooperação entre eles para a realização de tarefas (SANTOS et al., 2016). Os objetos para pertencerem a IoT devem possuir capacidade computacional e de comunicação, mesmo que essas capacidades sejam mínimas. Equipamentos que atendem essas capacidades são chamados de objetos inteligentes, atualmente uma gama de diferentes dispositivos atendem esse conceito, tais como: computadores, celulares, tablets, TVs, automóveis, nós sensores, eletrodomésticos, entre outros.

A heterogeneidade dos objetos inteligentes afeta as aplicações que necessitam utilizá-los para realizar tarefas, isso acontece por causa das diferentes tecnologias e protocolos que são utilizados pelos objetos, dificultando a comunicação e cooperação entre eles. Com o intuito de facilitar o desenvolvimento de aplicações utilizando a infraestrutura provida pelo conceito da IoT e abstrair as dificuldades tecnológicas não pertinentes aos desenvolvedores, o conceito de *middleware* é utilizado para estruturar a arquitetura IoT, sendo ele uma camada de software intermediária entre a camada de aplicações e a camada física (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010).

Geralmente a arquitetura do *middleware* proposta para IoT é baseada em serviços e utiliza a Arquitetura Orientada a Serviços (em inglês *Service Oriented Architec-*

ture (SOA)), permitindo maior reutilização de software e hardware por não impor utilização de uma tecnologia específica para a implementação de serviços (PASLEY, 2005). O intuito dos serviços IoT é oferecer às aplicações, funcionalidades dos objetos abstraindo a sua complexidade tecnológica (MOHAMMED; ESMAIL, 2015). A Figura 1 representa um arquitetura *top-to-bottom* baseada em SOA para o *middleware* IoT, composta de cinco camadas horizontais, sendo elas: Aplicações, Composição de Serviços, Gerenciamento de Serviços, Abstração de Objetos e Objetos; e uma camada vertical de Gerenciamento de Confiança, Privacidade e Segurança.

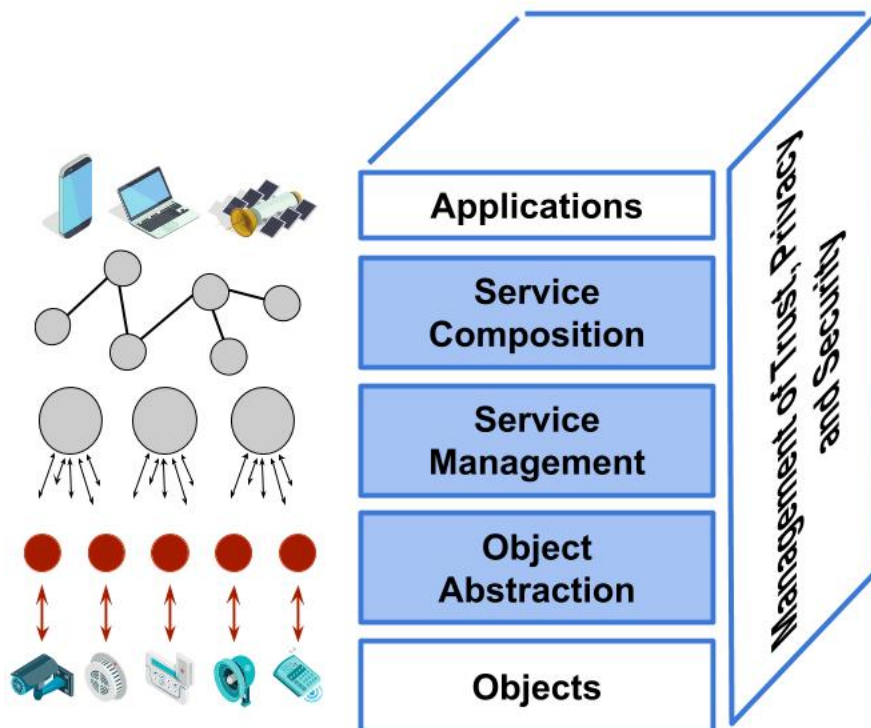


Figura 1 – Arquitetura do *middleware* IoT baseado em SOA. Fonte: (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010) (Icons designed by macrovector / Freepik)

A camada de aplicações está no topo da arquitetura oferecendo todas as funcionalidades do sistema para o usuário final, apesar de não ser considerada parte do *middleware*, essa camada utiliza todas as funcionalidades que estão disponíveis no *middleware*. A camada de composição de serviços proporciona a composição de serviços simples, providos pelos objetos inteligentes, em processos com funcionalidades mais complexas. O gerenciamento de serviço prover funcionalidades essenciais que devem está disponíveis para cada objeto, permitindo o gerenciamento do ambiente IoT, tais como descoberta dinâmica de objetos, monitoramento de status e configuração de serviços (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010).

Além da arquitetura baseada em serviços o *middleware* IoT pode ser baseado ainda em dois outros tipos: nuvem e atores. O *middleware* baseado em nuvem limita os usuários nos tipos e na quantidade de dispositivos que podem ser contidos pela rede.

Entretanto, permite que os usuários possam coletar, conectar e interpretar os dados com facilidade, pois os casos de uso podem ser determinados e programados antecipadamente (NGU et al., 2016). O *middleware* baseado em atores enfatiza uma arquitetura IoT de conectar e usar (*play and plug*), permitindo que os objetos possam ser utilizados sem necessidade de análise prévia e que uma variedade de objetos IoT possam ser expostos e reusados como atores através da rede (NGU et al., 2016).

Como já citado anteriormente, a heterogeneidade dos objetos obriga a existência de uma camada específica que harmonize o acesso e cooperação de objetos. A camada de abstração realiza isso através de duas subcamadas: a primeira é uma interface que expõe métodos disponíveis a serem utilizados através de um interface web e gerencia a entrada e saída de requisições, a segunda implementa toda a lógica por trás dos métodos da primeira subcamada, traduzindo-os para os comandos específicos utilizados na comunicação com os objetos no mundo real. A camada vertical de confiança, privacidade e segurança têm como objetivo construir e oferecer métodos para proteger os dados que estão sendo trocados entre as outras camadas da arquitetura. Por último a camada de objetos compreende unicamente os objetos físicos (PASLEY, 2005).

Apesar da arquitetura apresentada para o *middleware* IoT conseguir resolver desafios relacionados a heterogeneidade de objetos e a organização lógica da infraestrutura IoT, existem outros desafios ainda abertos a solução na literatura, como: a escalabilidade de objetos, segurança, privacidade e confiabilidade (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010; NGU et al., 2016; ALABA et al., 2017). Esses desafios são endereçados por diversas pesquisas que tentam solucioná-los através do desenvolvimento de mecanismos, métodos e até mesmo novos paradigmas.

2.2 *Social Internet of Things*

A *Social Internet of Things* (SIoT) é um paradigma derivado da IoT que propõe a utilização de redes sociais em conjunto com a infraestrutura já bem estabelecida da IoT. A utilização do conceito de redes sociais em IoT pode levar a grandes vantagens, tais como: (i) a estrutura SIoT pode ser moldada para garantir a navegabilidade da rede, permitindo a eficiência da descoberta de serviços e objetos, (ii) a confiabilidade de objetos podem ser determinadas através da análise da interação com objetos “amigos” e (iii) modelos utilizados para estudar redes sociais podem ser facilmente aplicados para tratar problemas relacionados a IoT (ATZORI et al., 2012). O conceito formalizado de SIoT determina-o como uma rede social onde cada nó é um objeto inteligente capaz de estabelecer relacionamentos, de forma autônoma, com outros objetos, seguindo regras estabelecidas pelos seus donos (GIRAU; MARTIS; ATZORI, 2017).

Um relacionamento em SIoT é a representação de um vínculo que os objetos

podem ter no mundo real, sendo essa representação utilizada para a construção da rede social através da formação de objetos “amigo” que são conectados por relacionamentos. Os trabalhos em SIoT estabelecem cinco tipos de relacionamentos que podem existir entre os objetos (ATZORI et al., 2012; GIRAU; MARTIS; ATZORI, 2017; ATZORI; IERA; MORABITO, 2011) :

- ❑ *Parental*: estabelecido entre objetos que pertencem ao mesmo lote de produção, geralmente são objetos homogêneos, originados no mesmo período e por um mesmo fabricante.
- ❑ *Co-location*: estabelecido entre objetos que são usados sempre no mesmo local. No caso de sensores, atuadores e objetos de realidade aumentada são considerados os objetos no mesmo ambiente como uma casa ou cidade inteligente.
- ❑ *Co-work*: estabelecido sempre que objetos cooperam entre si para prover determinada funcionalidade.
- ❑ *Ownership*: estabelecido entre objetos heterogêneos ou homogêneos que pertencem ao mesmo usuário.
- ❑ *Social*: estabelecido quando objetos entram em contato, contínuo ou esporádico, porque seus donos entraram em contato durante algum período de suas vidas.

A arquitetura apresentada por (ATZORI et al., 2012) para o sistema SIoT, propõe uma versão simplificada da arquitetura IoT, com apenas três camadas: (i) detecção, responsável pela aquisição de dados e colaboração de objetos em curta distância, (ii) rede, responsável por transmitir dados através de diferentes redes e (iii) aplicação, onde as aplicações IoT ficam disponíveis em conjunto com as funcionalidades do *middleware*. A Figura 2 apresenta a arquitetura de um servidor SIoT proposta por (ATZORI et al., 2012), sendo composto pelas camadas de rede e de aplicação. A camada de rede gerencia a comunicação com os objetos, utilizando tecnologias de comunicação, tais como: redes celulares, WLAN, Internet, entre outros.

A camada de aplicação do servidor é dividida em três subcamadas: interface, componentes e base. A subcamada de base inclui: um banco de dados para armazenar e gerenciar dados, descrições, ontologias relevantes utilizadas para representar a visão semântica das atividades sociais, e robôs semânticos que extraem as ontologias. Os componentes principais da infraestrutura SIoT pertencem a subcamada de componentes, sendo eles: Gerenciador de Relacionamentos (RM), Descoberta de Serviços (SD), Composição de Serviços (SC), Gerenciador de Confiabilidade (TM), Controle do Usuário (OC), Gerenciamento de ID (ID Mngt) e o Configurador de Informações dos Objetos (Profiling). Por último a subcamada de interface representa as interfaces que requerem serviços e processos ao servidor SIoT (ATZORI et al., 2012).

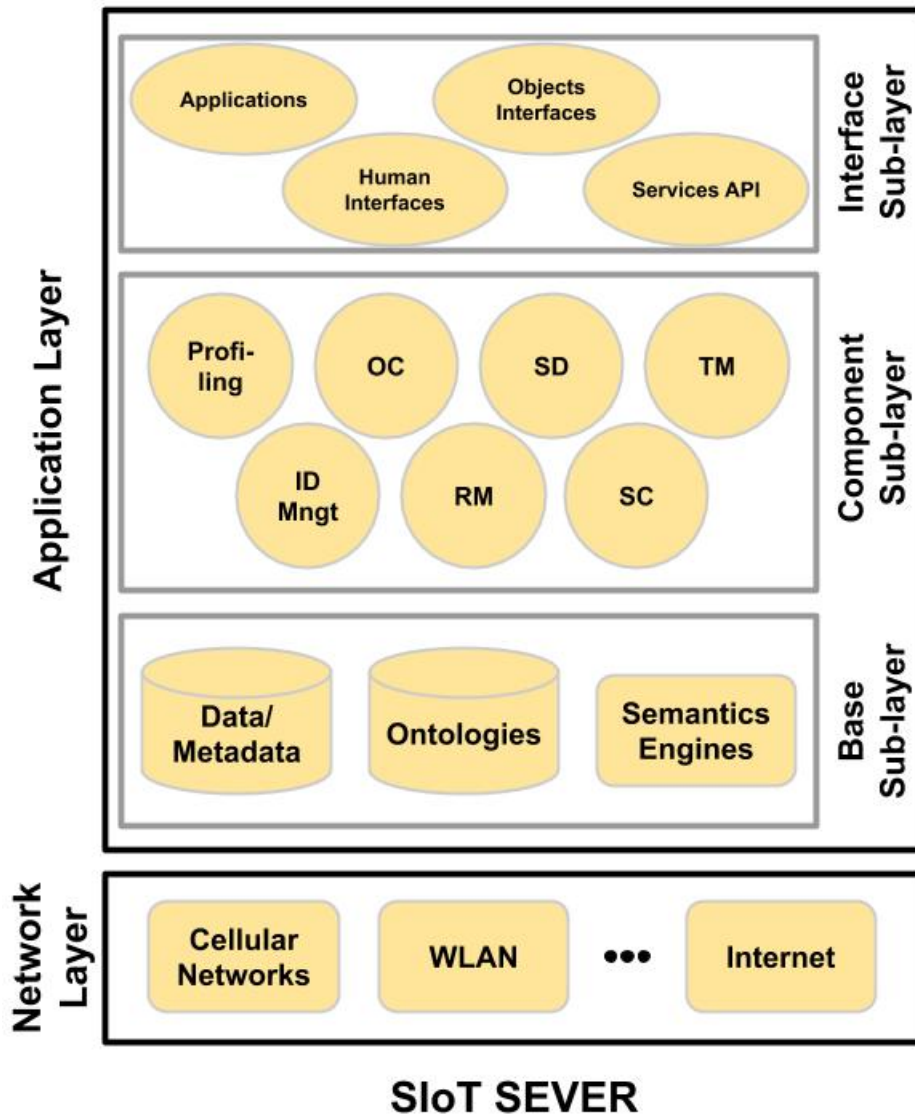


Figura 2 – Arquitetura do servidor SIoT, composto pelas camadas de aplicação e rede.
Fonte: (ATZORI et al., 2012).

O componente de ID Mngt é responsável por determinar um identificador único que universalmente identifica todas as possíveis categorias de objetos. O Profiling é responsável por configurar, manualmente e automaticamente, informações sobre os objetos. O OC é o módulo responsável por definir quais atividades podem ser realizadas em cada objetos a partir das ordens dos seus donos. Por outro lado o RM é o componente encarregado de permitir os objetos de criarem, atualizarem ou desfazerem seus relacionamentos com outros objetos. Enquanto isso o TM é responsável por entender como as informações fornecidas pelos objetos deve ser processada, verificando se o objeto é confiável ou está com a sua segurança comprometida (ATZORI et al., 2012).

Apesar de todos os componentes executarem funções importantes no servidor SIoT, os componentes de SD e SC são considerados fundamentais pelas tarefas que executam. O SD é responsável por encontrar objetos que possam fornecer os serviços requi-

sitados, isso é realizado através da busca na rede social através dos relacionamentos. O SC permite a cooperação entre objetos, sendo geralmente relacionada a uma requisição de um objeto que deseja resgatar uma informação do mundo real ou um serviço para realizar determinada funcionalidade, quando algum deles não pode ser fornecido por um único serviço, o SC procura compor os serviços encontrados, que possam oferecer partes dessa informação, em um processo único que cumpra a requisição (ATZORI et al., 2012).

A rede social em SIoT é amplamente utilizada por diversos componentes da arquitetura, contudo na literatura existem visões diferenciadas sobre a composição da rede social. Essas visões podem ser resumidas em duas vertentes, uma imediatista que vê a rede social da SIoT composta exclusivamente de objetos (ATZORI et al., 2012; HUANG et al., 2017) e uma futurista que trata a rede social SIoT como uma rede mista de humanos e objetos (JADHAV; PATIL, 2016; ORTIZ et al., 2014). A visão futurista considera que a computação ubíqua está encaminhando a SIoT para a construção de uma rede social mista e que por meio dela será possível solucionar diversos problemas da vida cotidiana, enfrentados por indivíduos e organizações (JADHAV; PATIL, 2016). Ainda que a visão futurista esteja distante da sua implementação, ela propõe objetivos interessantes a serem alcançados, preocupando-se com a forma que os objetos serão representados na rede social e incentivando a construção de um modelo que se aproxime de como os humanos utilizam as redes sociais. A visão imediatista foca principalmente na utilização rápida do paradigma SIoT para resolução de problemas. Essa visão incentiva a utilização dos relacionamentos da rede social, mas geralmente desconsidera as atividades sociais que objetos podem realizar. Para os próximos avanços em SIoT é necessário pensar e encontrar um ponto de equilíbrio entre as duas visões, evoluindo da visão de uma rede social de objetos inteligentes para uma rede de objetos sociais.

2.2.1 Exemplos de Aplicação

A organização de objetos em uma rede social e a criação de relacionamentos entre esses objetos pode beneficiar diversas aplicações. A figura 3 exibe diversas ideias de aplicações apresentadas por (ATZORI et al., 2012) que utilizam os benefícios de uma rede social de objetos proporcionada pela SIoT.

1. Giacomo recentemente comprou um novo notebook, por influência de seus colegas de trabalho, que utilizam computadores da empresa Apple, decidiu adquirir um Mac. Inicialmente o notebook teve dificuldades para se conectar a diversos dispositivos conectados através da rede local (ex. impressoras, scanners, e leitores externos de mídia física), dando a entender que não eram dispositivos amigáveis ao Mac. Explorando relacionamentos sociais com outros computadores Mac na mesma rede local, o Mac de Giacomo pôde encontrar algum computador “amigo” que passou pelos mesmos problemas de configuração, assim informando como solucioná-los. Procurar por

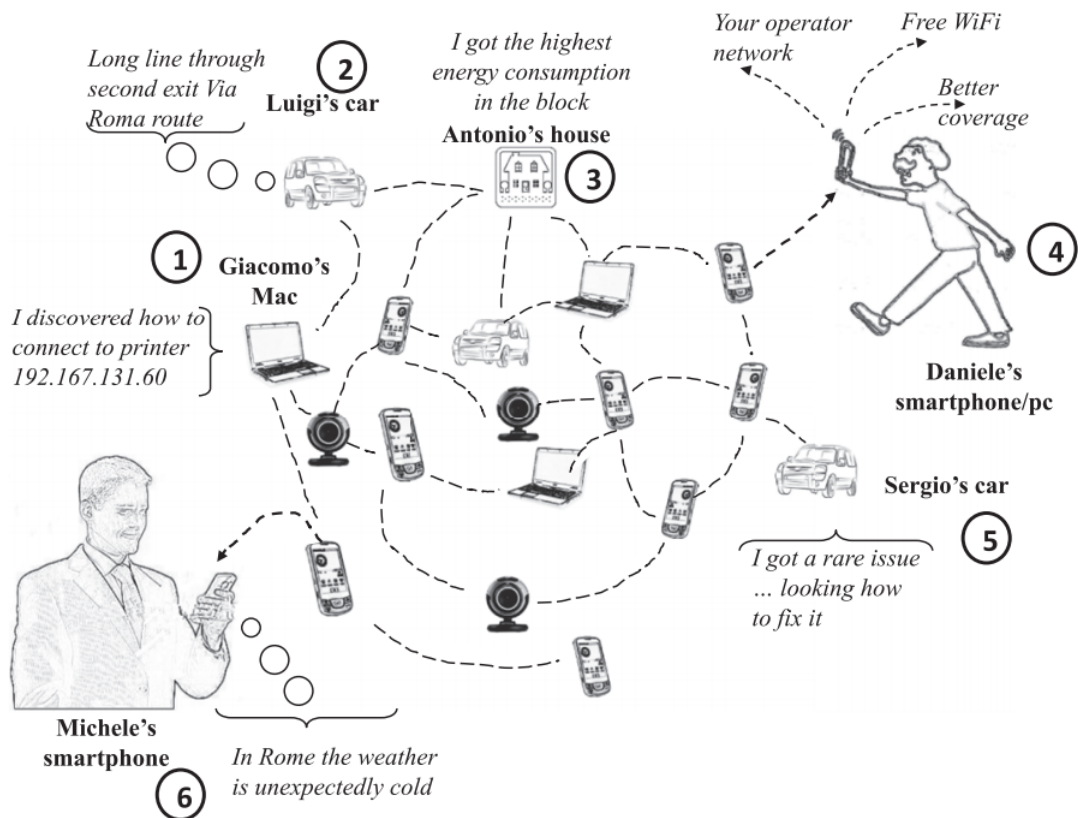


Figura 3 – Exemplos de aplicações na Social Internet. Fonte: (ATZORI et al., 2012).

fontes de informação através de uma rede social é bastante simples, características como localização geográfica, classe do objeto, marca e tipologia ajudam a identificar os amigos corretos na comunidade.

- Luigi é um representante de vendas que frequentemente se move de carro pela cidade para atender seus clientes. Infelizmente no último ano houve um aumento no trânsito da cidade, tornando seu deslocamento mais problemático e demorado. Entretanto, por meio da rede social, seu carro têm a possibilidade de recolher informações antecipadamente sobre congestionamentos nas possíveis rotas que seriam utilizadas e decidir o melhor caminho a ser seguido, atendendo a agenda de Luigi. Adquirir informação através da rede SIoT é simples para o carro por contatar dispositivos “amigos” através de relacionamentos de *co-location*.
- Antônio comprou um apartamento novo em um bairro recentemente construído que segue avançados princípios de construção ecologicamente corretos. Cada apartamento é equipado com controladores e sensores capazes de gerenciar e medir o consumo e produção, através de painéis solares, de energia durante todo o dia. Através da rede SIoT os controladores domésticos estão possibilitados a trocar informações sobre o consumo e produção de cada casa, sendo possível realizar um *benchmarking* local dos apartamentos, identificar os dispositivos domésticos que tem a melhor efi-

ciência energética e entre outros. Relacionamentos de *ownership* e *co-location* são utilizados nesse cenário.

4. Daniele frequentemente viaja a trabalho e necessita de rede para se conectar aos seus colegas de trabalhos, clientes e sua família. Seu smartphone faz parte da rede SIoT, estando possibilitado a recolher informações que ajudam a procurar por locais ao seu redor com uma boa cobertura de sinal ou por células *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) menos congestionadas ou por WiFi gratuita. Nesta aplicação os “amigos” corretos serão encontrados através da procura pelos tipos de objetos que necessitam desses serviços, como computadores, smartphones, tablets e entre outros, e pelas suas localizações geográficas.
5. Sérgio possui um carro que apresentou problemas frequentes durante o ano passado, dando a impressão que são problemas difíceis de resolver. A partir das informações recolhidas pelo controlador do carro através dos diversos sensores espalhados no automóvel, foi possível criar um perfil para o problema. Esse perfil é então compartilhado através da rede SIoT para procurar por algum problema similar que tenha sido já reconhecido e resolvido por algum carro idêntico ao de Sérgio. A procura por um nó na rede que possa ajudar a consertar o problema encontrado é realizada usando como parâmetro o perfil do problema e também o relacionamento *parental*, pois é buscado um dispositivo idêntico.
6. Existem diversos sensores que serão instalados, cada vez mais, em qualquer tipo de ambiente. Esses irão fornecer informações sobre o estado dos ambientes em relação a temperatura, a quantidade de pessoas, nível de umidade e outros parâmetros sobre o clima. Todos esses objetos podem trocar informações com o controlador do armário de roupas de Michele. Assim quando ele estiver se preparando para viajar é possível informar uma lista de roupas para serem usadas em uma viagem mais confortável para o local observado pelos sensores.

2.2.2 Rede Social de Objetos

As funcionalidades do paradigma SIoT e a arquitetura do seu *middleware* dependem da interação com a rede social formada pelos objetos da rede. Uma rede social é um conjunto de nós socialmente relevantes, conectados por um ou mais relacionamentos, sendo os nós as unidades mínimas membros da rede, representando geralmente pessoas ou organizações. Entretanto, em princípio qualquer unidade que possa ser conectada a outras unidades pode ser estudada como um nó (MARIN; WELLMAN, 2011). A definição anterior consegue transmitir diretamente a existência de uma rede social de objetos, sendo esta diferenciável das redes sociais comuns por ser formada por nós que são na verdade dispositivos, isso no âmbito da SIoT. Esses dispositivos podem ser os mais varia-

dos possíveis, como: computadores, smartphones, eletrodomésticos, tecnologias vestíveis, veículos, aparelhos hospitalares, controladores, sensores e entre outros, a única restrição é que esses dispositivos possam se conectar a internet.

A rede de objeto sociais procura representar não só os relacionamentos entre objetos, mas também a capacidade dos objetos de utilizarem uma rede social como um ser humano, realizando postagens, compartilhando e consumindo informação (JADHAV; PATIL, 2016), sendo essa obviamente uma visão futurista do avanço da rede social da SIoT. A representação dos objetos sociais na rede é realizada a partir da criação do perfil social do objeto. O perfil social do objeto é uma abstração do objeto para a rede social e proporciona a facilidade de se lidar com objetos sem se preocupar com toda a heterogeneidade de tecnologias e protocolos. Esse perfil contém todas as características e informações sobre o objeto. As características de um objeto são os dados inerentes a sua constituição e que são geralmente imutáveis, por exemplo seu fabricante, lote de produção, quantidade de núcleos de processamento e de memória primária e secundária, entre outros. Enquanto, que as informações de um objeto são dados sobre o objeto que estão em constante mudança, como capacidade de armazenamento, estado da bateria, confiabilidade do objeto, configurações de segurança, entre outros (KIM; FAN; MOSSE, 2017; ARAÚJO et al., 2019).

Além das características e informações descritas acima o perfil social pode possuir mais três informações distintas: (i) os amigos do objeto, nesse caso os perfis sociais de outros objetos que estabelecem relacionamento com ele, sendo classificados através dos cinco relacionamentos possíveis descritos na Seção 2.2, (ii) o *feed* de informações, geralmente associadas às rede sociais humanas, onde é possível acessar o compartilhamento de informações dos perfis amigos ou postar informações do objeto e por último (iii) os serviços que são fornecidos por esse objeto, sendo organizados em uma lista onde cada serviço tem um perfil próprio contendo suas características e informações próprias (JADHAV; PATIL, 2016).

A rede social de objetos em SIoT pode ser visualizada como um grafo não direcional, no qual cada nó é um perfil social de um objeto e cada aresta representa a formação de relacionamento entre dois nós (ARAÚJO et al., 2019). Entretanto como exposto na Seção 2.2, a SIoT possui a possibilidade de formar cinco tipos de relacionamentos distintos que podem resultar em grafos com ligações totalmente diferentes entre os nós. A figura 4 apresenta exemplos de grafos de uma rede social SIoT.

Na figura 4 é possível verificar como cada tipo de relacionamento forma ligações diferentes na rede apesar dos objetos serem os mesmos. Os relacionamentos *CO-location*, *Co-work* e *Social* possuem geralmente mais perfis sociais conectados que os outros relacionamentos, sendo isto um reflexo desses relacionamentos em redes sociais humanas. Além disso relacionamentos como *co-location* e *social* são voláteis e podem ser alterados

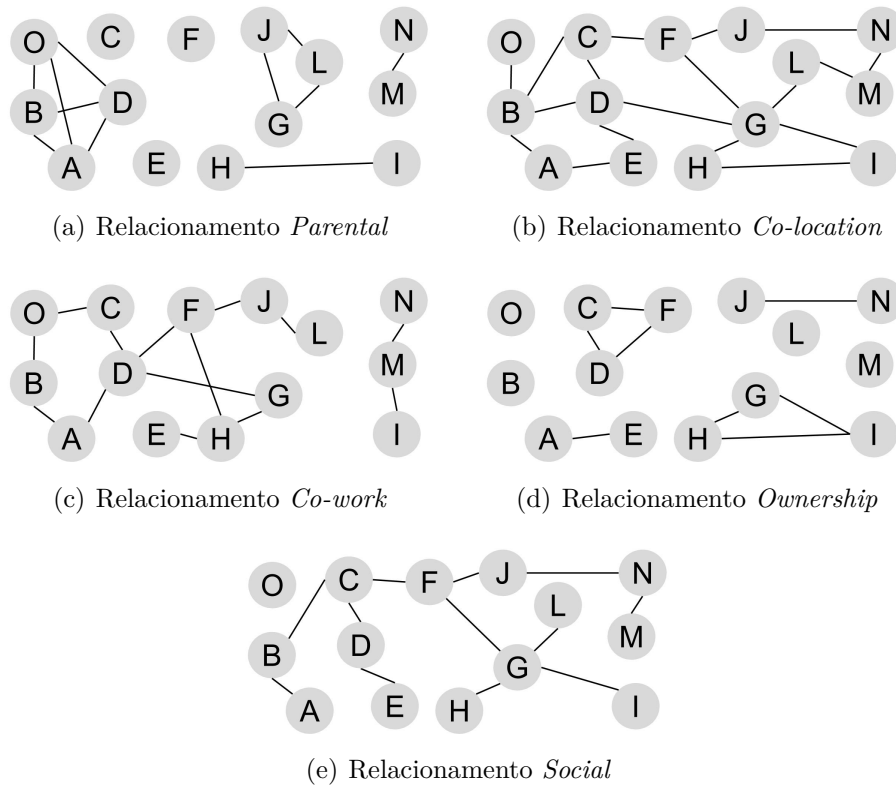


Figura 4 – Grafos representando relacionamentos da rede SIoT.

constantemente pela rede social, desfazendo assim arestas dos grafos que faziam ligações com outros objetos ou criando novas arestas. Essa volatilidade é bem vinda pela SIoT, pois ela ajuda a melhorar as funcionalidades do *middleware* quanto a alcance e eficiência, apesar de trazer consigo algumas dificuldades para o gerenciamento de serviços e da rede social.

2.3 Busca de Serviços

A busca de serviços pode ser definida como o processo de localizar serviços existentes que são relevantes para uma dada requisição baseada na descrição das suas semânticas funcionais e não funcionais (KLUSCH, 2014). Ela pode ser realizada de diversas formas diferentes dependendo de como os serviços estão descritos no espaço de busca, como o processo de busca está organizado e quais os meios de seleção de serviços são utilizados. A busca de serviços ainda é um das funcionalidades do *middleware* mais pesquisadas nas diversas arquiteturas baseadas em SOA, como por exemplo *web services* e IoT, advindo da necessidade de se produzir soluções para se lidar com o crescimento no número de serviços disponíveis (GUINARD et al., 2010; CIRANI et al., 2014; RODRIGUEZ-MIER et al., 2015).

Em um sistema IoT, cada objeto inteligente que compõem a rede oferece sua

ou suas funcionalidades através de serviços, publicando-os em um repositório que pode ser consultado por componentes do *middleware* (LI et al., 2012). A busca de serviços no *middleware* IoT procura neste repositório por serviços que atendam a requisição do usuário, sendo este usuário uma aplicação. Algumas vezes o serviço buscado é mais complexo que os serviços disponíveis no repositório, sendo então necessário que a busca encontre diversos serviços que serão depois compostos para formar o serviço complexo requerido (DAR et al., 2011).

Embora a busca de serviços seja uma assunto bem estudado e uma tecnologia já amadurecida em redes tradicionais, para IoT ainda restam diversos desafios. Ambientes IoT são geralmente altamente dinâmicos e envolvem um gigantesco número de objetos heterogêneos que são acessados por diversas aplicações (QUEVEDO et al., 2016). Essas características criam diversos problemas para uma busca de serviços eficaz e eficiente em IoT. Devido a natureza pervasiva e a sensibilidade da informação geralmente associada a ambientes e aplicações IoT, lidar com segurança e privacidade é outro grande desafio da busca de serviços.

Como citado na Seção 2.2 a SIoT utiliza a infraestrutura e arquitetura herdadas da IoT em conjunto com a rede social de objetos para executar as funcionalidades disponíveis no seu *middleware*, sendo uma dessas funcionalidades a busca de serviços. A busca de serviços SIoT se difere das outras pois os objetos estão organizados na forma de uma rede social, sendo necessário que a busca percorra a rede para que possa encontrar o serviço ou serviços requeridos (CHEN et al., 2015; ARAÚJO et al., 2019).

A rede social de objetos da SIoT é topologicamente estruturada na forma de grafo, de modo que cada relacionamento possível na SIoT tenha seu próprio grafo. Dessa maneira quando é necessário realizar uma requisição de busca de serviços os resultados encontrados podem ser diferentes dependendo do relacionamento usado na pesquisa. Na Figura 5 são reapresentados os mesmos grafos da Figura 4, contudo, desta vez os grafos demonstram como a busca de serviços pode ser diferente em cada relacionamento.

Ao se buscar serviços na rede social é necessário determinar o objeto inicial da busca, na Figura 5 o objeto escolhido foi o *D*. Após a escolha do objeto inicial, cada grafo de relacionamento é percorrido começando pelo objeto inicial e se espalhando em seguida para os seus amigos e os amigos dos amigos, cada cor na Figura 5 representa um conjunto de objetos acessados a cada nível de busca. Escolhendo a Figura 5(b) como exemplo é possível perceber que a trajetória de pesquisa é feita a partir de *D*, os seus amigos, que são os objetos *B*, *C*, *E* e *G*, são pesquisados. A busca prossegue nos amigos dos objetos anteriores (*A*, *F*, *H*, *I*, *L* e *O*), seguindo assim até a busca ter percorrido todos os objetos na rede e resgatado todos os serviços necessários.

Apesar de ter o mesmo objeto inicial para todos os grafos, os relacionamentos têm diferentes ligações, dessa forma objetos que seriam alcançados em uma busca por

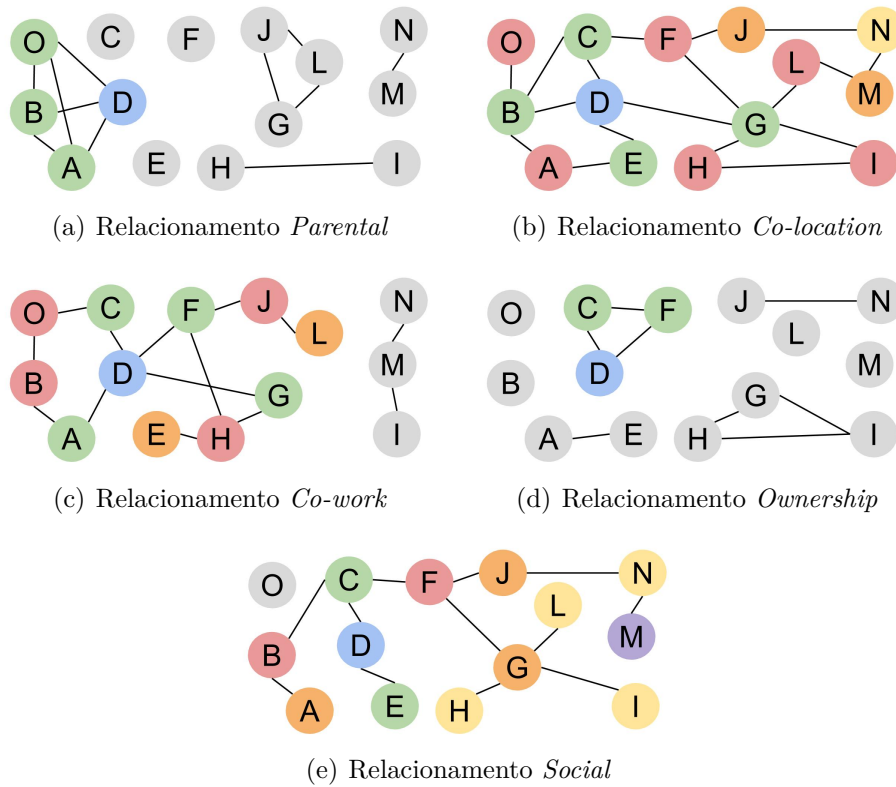


Figura 5 – Busca de serviços através de relacionamentos de uma rede SLoT.

determinado relacionamento, não será encontrado através de outro. Isso demonstra que existe uma necessidade de se verificar dependendo da requisição qual ou quais relacionamentos poderiam retornar os melhores e mais rápidos resultados. Outra característica da busca de serviços em SLoT é que a escolha do objeto inicial também pode interferir na resposta da busca. Métodos e abordagens para as funcionalidades do *middleware* SLoT precisam levar em consideração essas diferenças de relacionamento.

Estado da Arte

A utilização do conceito de redes sociais em conjunto com a IoT já era pressuposta por algumas pesquisas no ano de 2010 (KRANZ; ROALTER; MICHAHELLES, 2010; BAQER, 2010). Entretanto, sua definição formal como um novo paradigma da SIoT, foi inicialmente estabelecida através dos artigos (ATZORI; IERA; MORABITO, 2011; ATZORI et al., 2012). O estabelecimento ainda recente da SIoT se reflete nas pesquisas na área, sendo elas escassas e muitas vezes preocupadas em definir respostas para lacunas que a arquitetura herdada da IoT não consegue responder. Este capítulo foi dividido em duas seções distintas, as quais apresentam temas diferenciados de pesquisa que foram usados para estabelecer as ideias deste trabalho. Na Seção 3.1 são expostas pesquisas relacionadas ao uso das informações contidas no perfil social dos objetos da rede SIoT. Em seguida, a Seção 3.2 apresenta soluções relacionadas ao processo de busca de serviços, trazendo pesquisas de SIoT e IoT para o tema.

3.1 Características e Informações dos Objetos

O perfil social dos objetos e o seus conteúdos começaram a ser temas de diversas pesquisas da SIoT, geralmente discutindo sobre como usá-los de forma a fornecer algumas funcionalidades da rede ou para melhorar alguma já existente. A pesquisa desenvolvida por (JADHAV; PATIL, 2016) propõe um sistema de monitoramento domiciliar utilizando nós sensores e atuadores que se comunicam com os usuários através de uma rede social humana (Facebook). Neste trabalho, informações sobre o ambiente são recolhidas pelos sensores e guardadas em seus perfis sociais na rede SIoT. A qualquer momento os controladores do ambiente podem utilizar essas informações para enviar diagnósticos para os usuários. Esse envio é feito através de publicações em uma conta de usuário Facebook que é exclusiva do ambiente inteligente da casa. O usuário do sistema pode, caso deseje, responder o sistema de monitoramento através de comentários na publicação do Facebook com as medidas que devem ser tomadas pelo sistema para aquela determinada situação.

Em (GIRAU; MARTIS; ATZORI, 2017) é desenvolvido o Lysis, uma plataforma baseada em nuvem para o armazenamento de soluções IoT. Na Lysis cada objeto é um agente social autônomo, permitindo que aplicações totalmente distribuídas possam ser inseridas na plataforma. Essas aplicações são formadas pela colaboração de diversos objetos sociais, distribuídos através de várias nuvens e pertencendo a diferentes donos. Os objetos sociais são abstraídos por meio do chamado objeto virtual social (*Social Virtual Object* (SVO)). A arquitetura de um SVO é apresentada na Figura 6 e contém um módulo para conexão com a rede social chamado de *social enabler* e um módulo *virtual object* que guarda as capacidades e recursos do objeto real. Além disso, o SVO possui uma camada de conexão entre objetos chamada de SVO-API, que possibilita o envio de comandos para os objetos, e uma camada que proporciona a conexão entre o SVO e o objeto físico correspondente chamada de SVO-HAL.

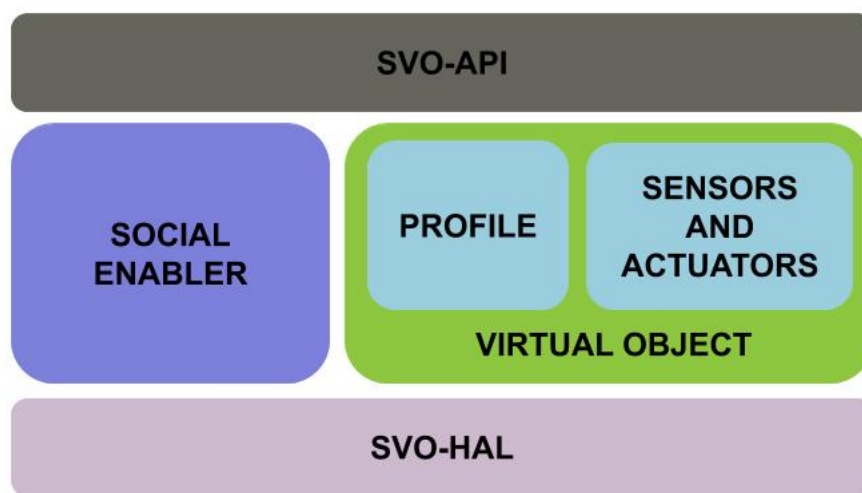


Figura 6 – Arquitetura de um SVO na plataforma Lysis. Fonte: (GIRAU; MARTIS; ATZORI, 2017).

A partir de uma pesquisa envolvendo sessenta potenciais usuários, o trabalho desenvolvido em (KIM; FAN; MOSSE, 2017), conseguiu identificar oito funcionalidades desejadas para sistemas SIoT. Essas funcionalidades foram agrupadas em quatro categorias de regras que podem ser programadas por usuários finais e impostas pelos sistemas SIoT. As regras criadas pelos usuários finais determinam como utilizar os relacionamentos entre objetos e pessoas para suportar decisões autônomas em tempo de execução. Com esse intuito foi criado o Socialite, uma ferramenta de programação para usuários finais que utiliza ontologias e modelos semânticos para encapsular a heterogeneidade de dispositivos de diferentes fabricantes e tecnologias. O Socialite aplicar as regras que os usuários criam para aumentar capacidade colaborativa dos objetos presentes no sistema.

O trabalho (ALVES et al., 2015) exemplifica bem a utilização da SIoT para o disseminamento de informações acadêmicas entre usuários de um ambiente específico, como o campus de uma universidade. O SIoTCampus propõe uma rede exclusiva para objetos

inteligentes em que informações de contexto, como localização, agenda, usuário, etc., são utilizadas como critérios para estabelecer relacionamentos entre os objetos. Como a rede social tem relacionamentos dinâmicos que podem ser modificados através da aquisição de informações do dono do objeto, é possível propagar pela rede informações, eventos e notícias para um número maior de interessados por aquele contexto.

Uma das possibilidades proposta pela SIoT é utilizar a rede social de objetos como uma ferramenta para determinar a confiabilidade de objetos na rede. A pesquisa realizada em (BRITTES; JR; WILLE, 2017) procura construir uma rede dentro de um ambiente médico para que os objetos possam transmitir e receber dados do sistema hospitalar de forma segura, identificando o nível de confiabilidade dos objetos e bloqueando ataques. A confiabilidade é identificada através da criação de um protocolo de gerenciamento de confiabilidade, que utiliza os relacionamentos e informações dos objetos para determinar o nível de confiabilidade dos mesmos. Em (WANG et al., 2016) também é proposto um modelo que verifica a confiabilidade de objetos na rede SIoT, sendo baseado no trabalho coletivo de objetos que fornecem funções computacionais e de armazenamento. Neste modelo, tarefas são enviadas aos objetos e ao atendê-las, uma recompensa é entregue aos objetos ajudando a criar relacionamentos e estabelecer confiabilidade entre objetos que cooperam entre si regularmente.

O trabalho realizado em (MIORI; RUSSO, 2017) define o projeto de infraestrutura de serviços orientados a vida assistida (*Service Oriented Assisted Living Infrastructure* (SOCIALIZE)). O SOCIALIZE pretende criar uma solução tecnológica completa consistindo de um sistema capaz de integrar em um único local diversos serviços direcionados especificamente para idosos e seus cuidadores. Dentre as funções do SOCIALIZE o artigo trata do módulo de serviços de monitoramento que recolhe informações físicas dos pacientes e do ambiente que ele está inserido. Esses dados são armazenados nos perfis sociais dos objetos SIoT que os recolhem, podendo ser supervisionados por médicos, cuidadores e outros serviços.

As pesquisas apresentadas nessa seção têm em comum a utilização do perfil social dos objetos para proporcionar diversas funcionalidades, seja essa utilização através do armazenamento e compartilhamento de dados ou por meio da utilização das características e informações do objeto. Isso demonstra que os seus perfis sociais podem ser utilizados para melhorar ou criar diversas novas funcionalidades e não somente serve como um repositório dos serviços oferecidos pelo objeto ou das suas amizades, proporcionando assim diversas possibilidades para o crescimento da SIoT.

Infelizmente a utilização dos perfis sociais pela SIoT ainda está restrita geralmente a aplicação final, tendo-se uma lacuna ao tratar do seu uso nas funcionalidades do *middleware*. Diferente das pesquisas apresentadas, este trabalho utiliza as características e informações contidas no perfil social do objeto para melhorar a busca de serviços que

é uma das funcionalidades essenciais da arquitetura SIoT. Dessa forma este trabalho utiliza e mostra o potencial trazido pelo conceito de perfil em redes sociais e como ele pode auxiliar no desenvolvimento de *middlewares* SIoT.

3.2 Busca de Serviços

A busca de serviços, como mencionado na Seção 2.3, é uma das funcionalidades mais importantes para os paradigmas da IoT e SIoT, uma vez que tem por objetivo encontrar serviços que serão entregues para as aplicações dos usuários ou serão usados por outras funcionalidades do *middleware*, como por exemplo a composição de serviços. Devido SIoT ser uma área extremamente nova, trabalhos de busca de serviços em redes SIoT ainda são escassos, apesar de que diversos artigos que definem a área citam a busca como um dos desafios e incentivam a sua pesquisa (NITTI; ATZORI; CVIJKJ, 2014; ATZORI; CARBONI; IERA, 2014; ATZORI et al., 2012). No entanto, em IoT a busca de serviços é um tema extremamente pesquisado, sendo que alguns trabalhos relevantes para a identificação de conceitos-chave da área de busca de serviços são considerados.

A pesquisa realizada em (CIRANI et al., 2014) propõe uma arquitetura escalável e de auto-configuração baseada no modelo *Peer-to-Peer* (P2P) para redes IoT de larga escala. O objetivo é prover mecanismos de descoberta automática de serviços e recursos, que não necessitem de intervenção humana para sua configuração. Inicialmente os pesquisadores definem o IoT *gateway* e as funcionalidades necessárias para seu funcionamento, sendo o *gateway* um nó especial na fronteira que é usado para guardar e retornar informações sobre os serviços e recursos dos nós da rede. Em seguida é implementado uma busca de serviços em larga-escala que implementa as chamadas listas de pesquisas de serviços, responsável por interpretar o nome do serviço em uma *Uniform Resource Identifier* (URI).

Em (JARA et al., 2013) é apresentada uma forma de interagir com a IoT por meio de um mecanismo adequado e homogêneo para a busca global de recursos de dispositivos e sensores em diferentes cenários. Para o propósito de busca, uma infraestrutura chamada “digcovery” é definida para máxima eficiência e sustentabilidade do desenvolvimento de aplicações. A pesquisa propõe um *framework* que permite que usuários restrinjam ou incluam seus próprios sensores em uma infraestrutura comum. Os recursos disponíveis podem ser acessados ou descobertos através de telefones celulares, baseando-se em geolocalização e nas capacidades de consciência de contexto.

Tornar a descoberta de serviços mais eficaz é o tema da pesquisa desenvolvida em (KHODADADI; DASTJERDI; BUYYA, 2015). O trabalho propõe o Simurgh, um *framework* para alavancar técnicas e padronizações modernas que possam descobrir e compor “coisas” e seus serviços correspondentes. Essa abordagem permite uma descoberta mais

eficiente de dispositivos IoT e os serviços que eles oferecem, enquanto também considera humanos como os principais beneficiários. Essa nova abordagem facilita a comunicação entre os objetos envolvidos através da formação de um ambiente ubíquo para elementos IoT. Esse ambiente é descrito a partir da utilização de arquivos legíveis para ambos humanos e máquinas, sendo que esses podem facilmente encontrar e requisitar, por meio de web APIs RESTful, serviços IoT disponibilizados. Além disso, submeter requisições por serviços IoT de forma conjunta formam fluxos, possibilitando que depois esses fluxos possam ser combinados e orquestrados. Dessa forma o usuário final pode conseguir a funcionalidade desejada sem precisar se preocupar em ter habilidade para programar.

A pesquisa realizada em (NITTI; ATZORI; CVIJKJ, 2014) analisa possíveis estratégias para varrer a rede social de objetos de forma mais eficiente a partir da determinação dos melhores saltos entre a conexão de objetos. A pesquisa considera que um objeto fará amizades até um limite máximo e a partir dali aplicará uma das cinco heurísticas, apresentadas em seguida, para lidar com a chegada de um novo amigo. As heurísticas são: (i) o objeto recusa qualquer nova requisição de amizade; (ii) o objeto aceita novas amizades descartando amizades antigas para maximizar seu alcance a objetos, sendo que o objeto “amigo” descartado é sempre aquele que tiver o menor número de amigos; (iii) o objeto aceita novas amizades descartando amizades antigas para minimizar seu alcance a objetos, sendo que o objeto “amigo” descartado é sempre aquele que tiver o maior número de amigos; (iv) o objeto aceita novas amizades descartando amizades antigas para maximizar o seu agrupamento local, sendo que o objeto ranqueia seus amigos a partir do número de “amigos” em comum e descarta o objeto com o menor valor; (v) o objeto aceita novas amizades descartando amizades antigas para minimizar o seu agrupamento local, sendo que o objeto ranqueia seus amigos a partir do número de “amigos” em comum e descarta o objeto com o maior valor.

A pesquisa desenvolvida em (NITTI; PILLONI; GIUSTO, 2016) apresenta uma solução para a implementação da busca de serviços da arquitetura SIoT. Utilizando os relacionamentos construídos pelos objetos da rede social é possível criar um método de busca, que com um pequeno número de saltos em uma rede implementada como grafo, encontra objetos que fornecem os serviços requeridos. Isso é realizado utilizando duas propriedades: a primeira é intrínseca a rede social, baseando-se nas amizades dos objetos; a segunda é externa a rede social, baseando-se na similaridade entre o objeto e a requisição. A Figura 7 apresenta um grafo de uma rede social de objetos na SIoT. Através do grafo, o objeto 1 quer procurar na rede pelo serviço S_a , apesar de o objeto 1 ter outros três amigos a partir da análise um atributo externo de similaridade ele percebe que o objeto 4 é o mais provável a ter conexão a alguém que possa ter o serviço, seguindo assim até encontrar o objeto 9 que pode lhe prover o serviço S_a .

A pesquisa em (CHEN et al., 2015) propõe a criação de um método para a com-

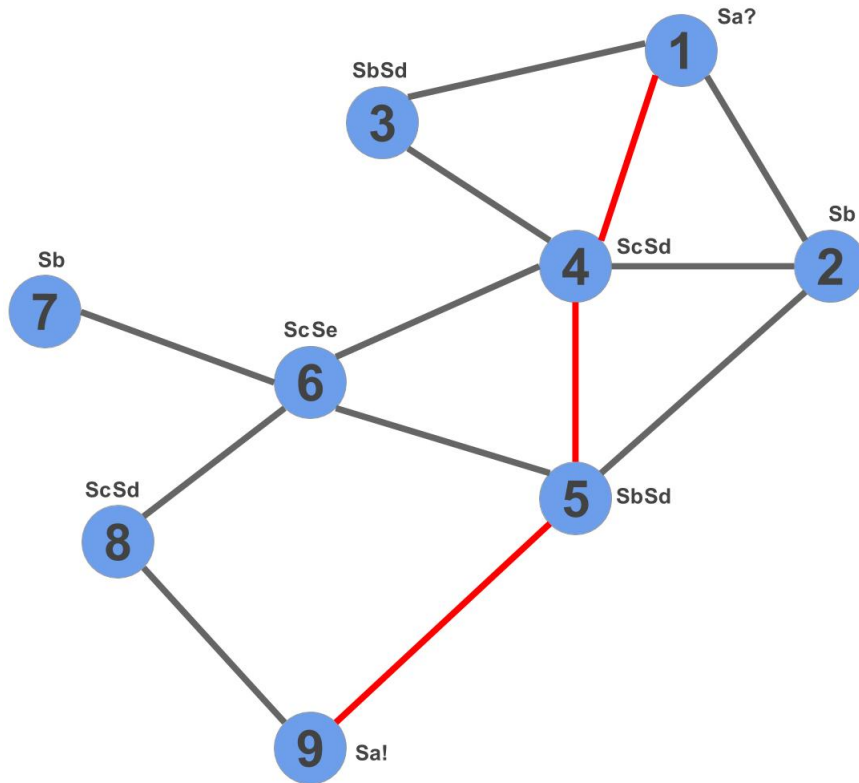


Figura 7 – Busca de serviços baseada em similaridade de objetos. Fonte: (NITTI; PILLONI; GIUSTO, 2016).

posição de serviços em SIoT utilizando os relacionamentos formados pelos objetos na rede social, encapsulando objetos heterogêneos em *web services*. Em seguida, utilizando o estilo RESTful, as aplicações podem requerer acesso de forma homogênea aos objetos, permitindo a colaboração entre eles para compor processos mais robustos. A composição é possível por meio da modelagem dos relacionamentos entre serviços pela rede social, classificando os relacionamentos em três dimensões: localização, tipo e correlação. Ao se requerer um processo complexo, que precisa ser composto por diversos serviços, o componente realiza uma busca em toda rede social através dos três relacionamentos para encontrar os serviços candidatos. Estes candidatos são avaliados e os melhores são compostos no processo requerido. O trabalho propõe também um algoritmo de busca que deve ser utilizado para encontrar os serviços utilizando o método de busca em largura em grafos.

A partir das pesquisas expostas nesta seção é possível perceber a necessidade de criar abordagens para a busca de serviços que atendam requerimentos de eficiência, eficácia e de escalabilidade. Os métodos propostos para a busca de serviços na IoT são extremamente interessantes por focarem no escopo de uma rede de objetos global ou de tamanho colossal, além de apresentarem diversas tecnologias para o desenvolvimento do tema. Apesar disso os trabalhos em IoT precisariam ser totalmente adaptados para a utilização da rede social no paradigma SIoT, sendo possível que algumas tecnologias

propostas não pudessem ser utilizadas.

As pesquisas de busca de serviços em SIoT ainda são bastante raras, de forma que poucas sobre busca de serviços foram encontradas. Dessas, os trabalhos de (CHEN et al., 2015; NITTI; PILLONI; GIUSTO, 2016) são mais próximos da proposta realizada por este trabalho, pois apresentam métodos que podem ser implementados e testados em comparação com o método aqui proposto. Esses artigos se preocupam com a utilização dos relacionamentos dos objetos para encontrar serviços. Diferentemente, o método proposto por esse trabalho procura utilizar as características e informações contidas no perfil social dos objetos para melhorar a busca de serviços. Além disso, também mostra que o perfil social dos objetos pode ser um grande aliado na implementação ou adaptação das funcionalidades do *middleware* SIoT.

Busca de Serviços Baseada nos Perfis Sociais dos Objetos

Como citado anteriormente a busca de serviços é umas das funcionalidades mais importantes do *middleware* SIoT, sendo por meio dela que aplicações podem fazer uso dos serviços e outras funcionalidades-chave da SIoT podem realizar suas ações. A busca de serviços em SIoT precisa trabalhar com a organização dos objetos na rede social. Dessa forma, a busca é feita através da procura nessa rede por objetos que ofereçam os serviços. Como a rede é organizada em diversos grafos que representam os relacionamentos possíveis entre objetos da rede, a busca é realizada verificando-se o perfil social do objeto, sendo este um nó pertencente ao grafo, com o intuito de saber se ele prover algum dos serviços que estão sendo procurados. Caso não se tenha encontrado todos os serviços, a busca continua percorrendo os objetos da rede através dos amigos do objeto anterior, sendo estes ligados por arestas no grafo.

Na SIoT, poucas pesquisas focam na criação de abordagens para a busca de serviços. Os trabalhos (CHEN et al., 2015; NITTI; PILLONI; GIUSTO, 2016) são os únicos encontrados a partir da revisão da literatura que trata deste tema. Em (CHEN et al., 2015), que será chamada de método de Chen et al., a busca é realizada por meio da técnica de busca em largura. Nesta técnica todos os objetos da rede são varridos a procura de objetos que possam prover os serviços, sendo que a busca só termina quando não existir mais nenhum objeto para ser analisado. A Figura 8(a) apresenta a busca de serviços com o método de Chen et al em um grafo de relacionamento *Co-location*. No método apresentada em (NITTI; PILLONI; GIUSTO, 2016), que será chamado de método de similaridade de objetos, a busca utiliza um atributo externo que decide qual o próximo objeto que se deve percorrer com maior chance de ser ter os serviços buscados. Esse atributo é chamado de similaridade do objeto e é produzido a partir da análise das características e informações dos objetos. A Figura 8(b) apresenta a busca de serviços com o método de similaridade de objetos, onde as arestas em vermelho indicam o caminho

percorrido pela busca no grafo.

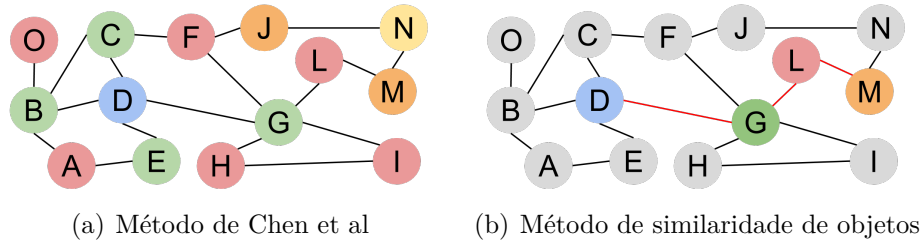


Figura 8 – Método de busca de serviços na rede SIoT

Apesar de serem abordagens interessantes, elas encontram problemas que podem dificultar as suas execuções. O método de Chen et al. precisa acessar todos os objetos da rede para então retornar uma resposta à requisição, fazendo com que seja suscetível a problemas de escalabilidade, principalmente ao considerar uma rede com grande número de dispositivos conectados. Outro problema com esse método é que vários serviços que realizam a mesma ação podem ser retornados, necessitando de uma etapa extra para filtrar os melhores serviços para serem utilizados. Da mesma forma, o método de similaridade de objetos pode ter problemas de escalabilidade, não na rede em si, mas para manter uma lista atualizada de similaridade de objetos. Isso acontece, pois quanto maior o número de objetos na rede, maior o número de objetos na lista. Além disso, a similaridade é um atributo calculado externamente à rede o que pode ser um problema devido o caráter volátil dos relacionamentos da rede social, sendo computacionalmente custoso atualizar periodicamente a lista.

Os problemas destacados anteriormente com as abordagens para a busca de serviço SIoT inspiraram o desenvolvimento de um novo método de busca, considerando uma abordagem focada na utilização dos perfis sociais dos objetos para melhorar a busca de serviços. O método desenvolvido neste trabalho foi nomeado de Busca de Serviços por Perfil Social (BPS) e utiliza uma variação do algoritmo de busca em largura proposta pelo método de Chen et al. (CHEN et al., 2015), adicionando um novo critério de parada para o método e uma melhor análise da qualidade dos serviços a partir de características e informações do objeto.

4.1 Método BPS

O BPS utiliza as características e informações contidas nos perfis sociais dos objetos como critérios adicionais de comparação para verificar se os serviços de um objeto, e ele próprio, atendem aos requisitos da requisição. O método também introduz uma nova condição de parada para busca em largura: uma vez que todos os serviços requisitados sejam encontrados, independentemente da quantidade de objetos visitados, a busca é

interrompida. Além disso, como na estratégia de busca em largura, o BPS também finaliza sua execução quando todos os objetos da rede já foram pesquisados.

O BPS garante que uma resposta satisfatória para a requisição será encontrada. Isto acontece quando todos os serviços encontrados atendem minimamente os requisitos enviados pela requisição. Importante ressaltar que o BPS não garante que o melhor serviço para determinada ação será encontrado, pois a rede pode acabar não sendo varrida completamente. Contudo, existe a garantia que os serviços encontrados estão de acordo com os requisitos. Apesar deste contraponto, o método consegue balancear a qualidade dos serviços encontrados com o tempo de busca gasto. O BPS também é suscetível a não responder à uma requisição, assim como as outras abordagens. Isto ocorre quando não é possível encontrar todos os serviços requeridos ou quando nenhum serviço é encontrado. Vale salientar que no BPS também pode ocorrer que um serviço não seja encontrado porque o objeto que oferece o serviço não atende os requisitos mínimos da requisição.

A requisição no BPS é feita a partir do envio de um bloco de informações específicas para a execução da busca. A Figura 9 apresenta a mensagem de requisição que é recebida pelo BPS, a qual é formada por três atributos: (i) Objeto Requerente (OR), contendo a identificação do objeto que requisitou a busca, sendo este um objeto obrigatoriamente pertencente a rede; (ii) uma Lista de Serviços (LS), contendo os serviços requeridos e que serão buscados pelo BPS, como por exemplo serviços de detecção de gases, luminosidade, entre outros; e por último (iii) a Lista de Requisitos (LR), contendo requisitos que serão verificados e deverão ser atendidos pelas características e informações dos objetos, como por exemplo, tipo de tecnologia de transmissão, quantidade de memória, confiabilidade do objeto, dentre outros.

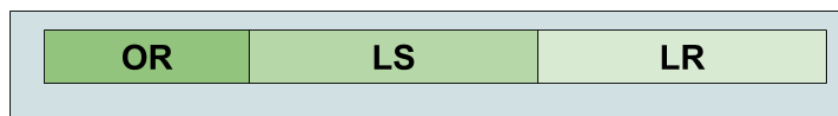


Figura 9 – Requisição de busca de serviços e seus atributos.

A Figura 10 ilustra o processo BPS em uma rede com sete objetos que recebe uma requisição por busca de serviços. Como todo objeto que requer uma busca de serviços também faz parte da rede social de objetos, o BPS utiliza o perfil social do requerente na rede como o objeto inicial da busca (objeto *A*). Com os outros atributos da requisição, o BPS começa a verificar se os objetos amigos de *A* possuem os serviços requisitados (Figura 10(b)). O objeto inicial *A* é marcado como não usável, pois, ou não possui os serviços buscados ou não atende todos os requisitos impostos, mesmo que, tenha o serviço requerido. Ao verificar os objetos *B* e *D*, BPS percebe que os dois tem serviços requeridos e que eles atendem todos os requisitos, portanto suas identificações são adicionadas a uma lista com o possível resultado. Como não foram encontrados todos os serviços requeridos

a busca é expandida para os objetos F e C (Figura 10(c)), que possuindo os serviços que faltavam e atendendo aos requisitos, completam a execução da busca.

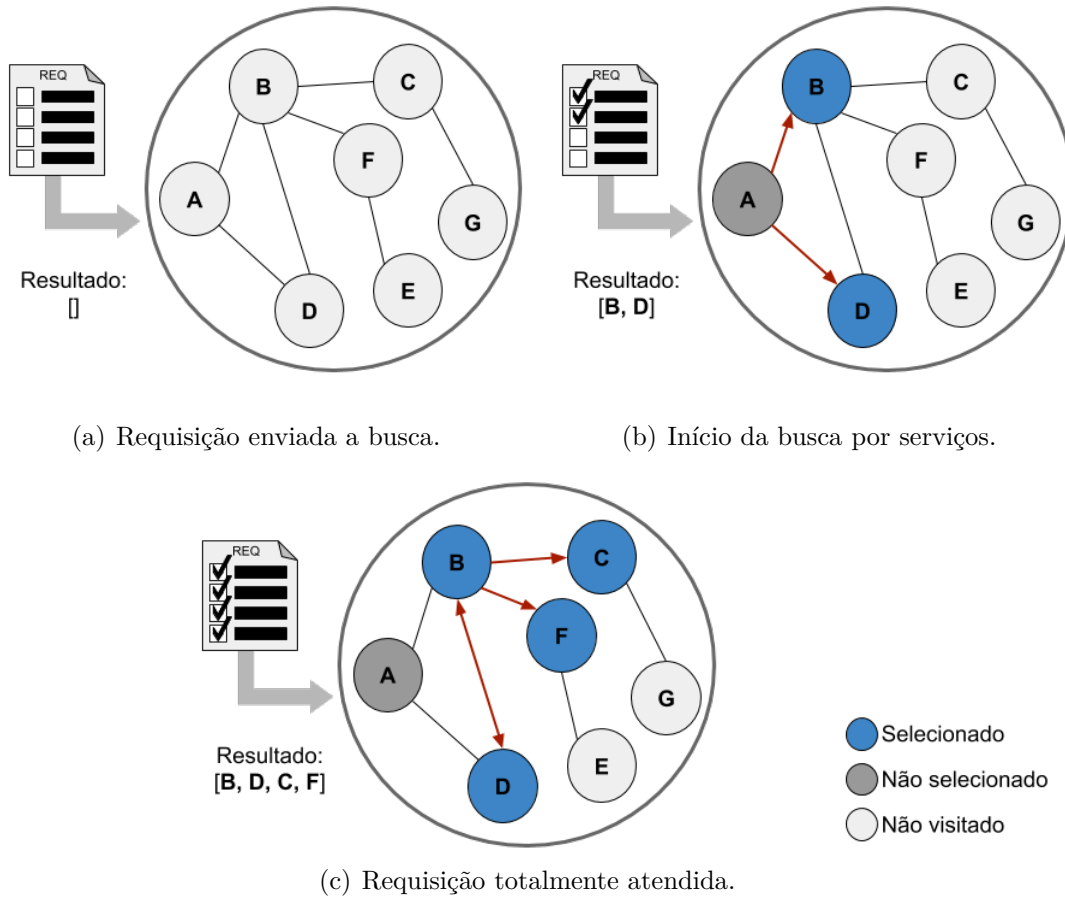


Figura 10 – Funcionamento do método BPS.

Como exemplo, podemos considerar um objeto que pertence a uma rede SIoT. Nessa rede, os objetos possuem como uma das suas características, os tipos de conexões sem fio que podem realizar, como bluetooth, 4G, GSM e Wi-Fi, sendo permitido possuir qualquer combinação dessas quatro conexões. Esse objeto possui somente a capacidade de conectar-se por Wi-Fi, enquanto que a requisição de busca pede por serviços de objetos que podem se comunicar via Wi-Fi e 4G. Mesmo que este objeto tenha um serviço que atenda a requisição, ele não será considerado, pois não atende aos requisitos mínimos da busca. Esse tipo de abordagem facilita a manipulação dos resultados da busca por outras funcionalidades da rede SIoT, como a composição de serviços, pois garante que os serviços encontrados não precisam passar por uma nova avaliação de checagem de requisitos.

4.2 Algoritmo do Método BPS

O Algoritmo 1 descreve o método BPS para busca de serviços considerando os perfis dos objetos. A requisição é tratada como três blocos separados, (i) lista de serviços

requisitados (*required_service_list*) que representa a lista contendo os serviços que devem ser encontrados; (ii) Lista de requisitos (*requirement_list*) que contém todos os requisitos mínimos que os objetos devem possuir; e (iii) Objeto requerente (*requester*) que será utilizado como ponto inicial da busca na rede SIoT. Além da requisição, o algoritmo também recebe como entrada a rede social *social_network* que contém todos os perfis sociais dos objetos na rede.

Algoritmo 1 Busca de serviços Baseada em Perfis Sociais (BPS)

Entrada: *required_service_list*, *requirement_list*, *requester*, *social_network*

Saída: *service_list*

Require: *requester* deve ser um objeto pertencente à rede social

```

1: search_list.adiciona(social_network.recupera(requester))
2: while search_list não é vazia do
3:   head ← search_list.removeHead()
4:   if required_service_list foi atendida then
5:     break
6:   else
7:     if head.visualizado = true then
8:       continue
9:     else if head atende required_service_list and head atende requirement_list
       then
10:      service_list.adiciona(head.services())
11:    end if
12:  end if
13:  head.visualizado ← true
14:  search_list.adiciona(social_network.recuperaAmigos(head))
15: end while
16: return service_list

```

Inicialmente, o BPS adiciona o perfil social do objeto requerente a *search_list* e em seguida inicia o laço buscando serviços por toda a rede até que a *required_service_list* tenha sido completamente atendida ou *search_list* esteja vazia. Para cada objeto retirado da lista (*head*), é verificado se o perfil social já foi pesquisado (linha 7). Em caso positivo, verifica-se o próximo objeto. Caso contrário, é verificado se um ou mais serviços da *head* correspondem aos serviços requeridos em *required_service_list* e se aquele objeto atende os requisitos mínimos dispostos na *requirement_list* (linha 9). Os serviços que atenderem ambas as condições são adicionados à *service_list* (linha 10). O BPS marca então o perfil social contido em *head* como já visualizado e adiciona os seus amigos à *search_list* (linha 14), iniciando novamente o processo. Quando o algoritmo termina sua execução por uma das duas condições de parada, os serviços encontrados são entregues como resposta da requisição. O resultado final do BPS permite três estados diferentes, (i) não encontrar nenhum serviço que atenda à requisição, (ii) encontrar somente alguns serviços, atendendo

então parcialmente a requisição, ou (iii) encontrar todos os serviços, atendendo de forma completa a requisição.

Implementação e Cenários de Avaliação

Como forma de averiguar a eficácia do método de busca BPS em uma rede SIoT, foram realizados testes através da implementação do seu algoritmo na linguagem Python. Entretanto, a validação dos resultados obtidos só poderia ser realizada por meio de comparação com outros métodos de busca SIoT, portanto os métodos de Chen et al. (CHEN et al., 2015) e similaridade de objetos (NITTI; PILLONI; GIUSTO, 2016) também foram implementados utilizando a mesma linguagem. Primeiramente, antes da implementação dos métodos foi necessário obter um *dataset* e adaptá-lo para a realização dos testes, pois a forma como o *dataset* estivesse estruturado interferia na forma que a implementação seria realizada. As próximas seções deste capítulo descrevem o processo de escolha e adaptação do *dataset*, a implementação dos métodos e a estruturação dos testes.

5.1 *Dataset* de Objetos

Para a realização dos testes desse trabalho foi necessário escolher um *dataset* de objetos que formassem ou pudessem formar uma rede SIoT. Primeiramente foi analisado a possibilidade de utilizar *datasets* de objetos de redes IoT, contudo essa abordagem só seria empregada em último caso. O motivo seria que para utilizar um *dataset* IoT seria necessária a realização de um grande número de modificações para a criação dos relacionamentos entre objetos, sendo estes compartilhados por todos os métodos, e dos perfis sociais dos objetos, utilizados no método BPS. Entretanto, durante a pesquisa em SIoT, o *dataset* (ATZORI; NITTI; MARCHE, 2016) foi encontrado.

O *dataset* oferecido por (ATZORI; NITTI; MARCHE, 2016) foi desenvolvido a partir de uma rede SIoT urbana no contexto do projeto SmartSantander, executado nas cidades de Belgrade, Guildford, Lübeck and Santander. Sendo porém, o único *dataset* disponível, o da cidade de Santander. Este *dataset* já foi utilizado em diversas pesquisas da área SIoT (GIRAU; MARTIS; ATZORI, 2017; NITTI; ATZORI; CVIJKJ, 2014; NITTI; GIRAU; ATZORI, 2013; FARRIS et al., 2015), sendo composto por 16216 dispositivos

(objetos da rede social) de diversos tipos de tecnologias. Ele fornece informações sobre os relacionamentos da rede social e os serviços que cada objeto oferece. Os serviços são representados por números que indicam alguma funcionalidade que o objeto pode prover, sendo que cada objeto pode possuir até oito tipos de serviços diferentes de um total de dezessete distintos. Como o *dataset* não trabalha com os serviços sendo entidades únicas, com sua própria identificação, o BPS e os outros métodos foram implementados com a alteração de que ao invés de retornar os serviços encontrados, são retornados os objetos que os provem.

Os relacionamentos dos objetos são representados através de matrizes de adjacência, onde os valores *booleanos* representam a existência, ou não, de uma “amizade” entre os objetos. A Figura 11 ilustra a organização de uma matriz de relacionamento onde o número um identifica uma amizade entre dois objetos. Por exemplo, os objetos (A,C) e (E,F) são amigos pois a interseção das suas colunas e linhas possuem o valor um. O *dataset* só possui quatro dos cinco relacionamentos possíveis expostos na Seção 2.2, não possuindo o relacionamento de *Co-work*. Decidiu-se então por não criar esse relacionamento e utilizar apenas os quatro existentes para os testes.

		Objetos					
		A	B	C	D	E	F
Objetos	A	0	0	1	0	0	1
	B	0	0	0	1	0	0
	C	1	0	0	0	1	0
	D	0	1	0	0	0	0
	E	0	0	1	0	0	1
	F	1	0	0	0	1	0

Figura 11 – Exemplo de Matriz de adjacência dos relacionamentos do *dataset*.

Apesar do *dataset* já conter os relacionamentos entre objetos, ele não possui as características e informações deles, sendo essas informações necessárias para os métodos de similaridade de objetos e BPS. Dessa forma, foi criado para cada objeto um perfil social que encapsula essas informações. Quatro características foram definidas para cada objeto, sendo elas: Memória primária, memória secundária, núcleos de processamento e conectividade.

Para cada atributo foram determinados faixas de valores, entre um valor mínimo e máximo, conforme a Tabela 1. Um *script* foi utilizado para gerar aleatoriamente para cada objeto valores para o preenchimento das suas características e informações, respeitando os limites impostos pela Tabela 1. Vale salientar que dentre os dados de preenchimento, a

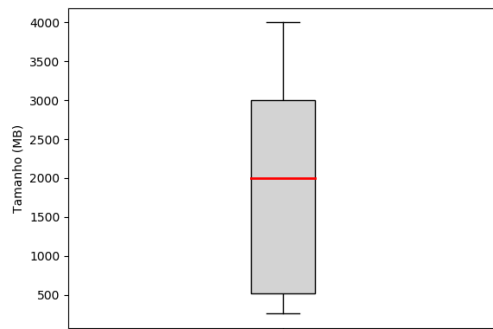
conectividade é considerada um atributo abstrato, representando vários tipos de conexões que um dispositivo pode possuir, mas neste trabalho foi apenas representado por um valor que indica um tipo de conexão diferente como Wi-Fi, *Global System for Mobile Communications* (GSM) e entre outros. A Figura 12 apresenta a distribuição dos valores, por meio do estilo bloxplot, que foram preenchidos para cada atributo dos perfis sociais dos 16216 objetos do *dataset*. A partir da figura é possível notar que nem todos os valores chegaram ao valor máximo possível para aquele atributo, como por exemplo em memória secundária que possui limite máximo de 512000MB, contudo alcançou o valor máximo de aproximadamente 35000MB.

Tabela 1 – Atributos dos perfis sociais e faixa e valores.

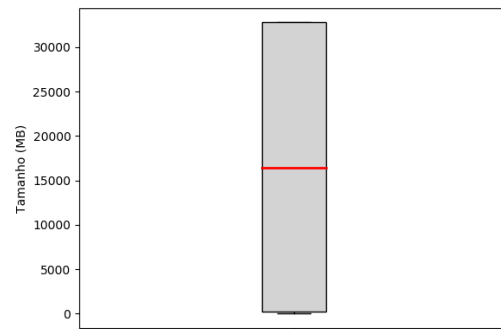
Atributos	Valor Mínimo	Valor Máximo
Memória primária	256 MB	4000 MB
Memória secundária	0 MB	512000 MB
Núcleos de processamento	1	8
Conectividade	1	5
Capacidade de armazenamento	15%	75%
Estado da bateria	10%	100%
Confiabilidade do objeto	45%	95%

5.2 Implementação dos Métodos

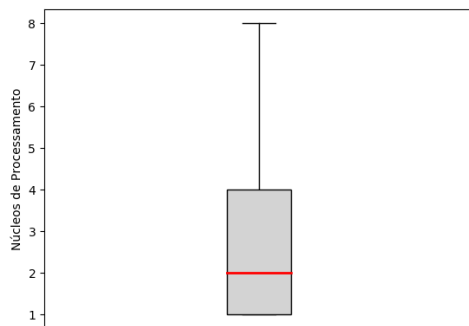
A definição do *dataset* foi essencial para determinar a forma como diversas entidades dos métodos seriam desenvolvidas em sua implementação. Definiu-se que para os três métodos cada objeto é criado como uma instância de uma classe em Python, possuindo como atributos seu identificador único, a lista de serviços providos, suas características e informações. As pesquisas que definiam os métodos de Chen et al. e similaridade de objetos deixam em aberto a informação sobre qual será o objeto inicial da rede durante a busca (CHEN et al., 2015; NITTI; PILLONI; GIUSTO, 2016). Portanto, foi escolhido utilizar a abordagem descrita no Capítulo 4 onde o objeto inicial de busca é o objeto requerente, pois é considerado que o requerente também faz parte da rede SIoT. Assim, os três métodos possuem o mesmo objeto inicial durante a sua execução. Outra característica em comum entre os métodos implementados é a de marcar os objetos que já foram visitados, garantindo que não se entre em interações infinitas durante a busca de serviços. Em seguida são descritas as particularidades da implementação de cada método.



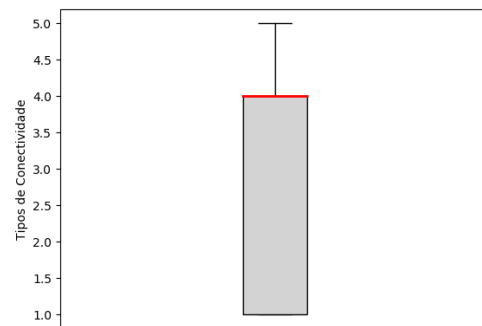
(a) Memória Primária



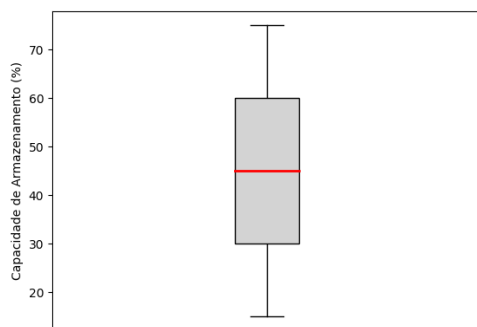
(b) Memória Secundária



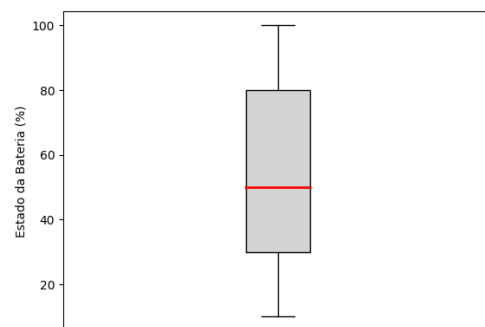
(c) Núcleos de Processamento



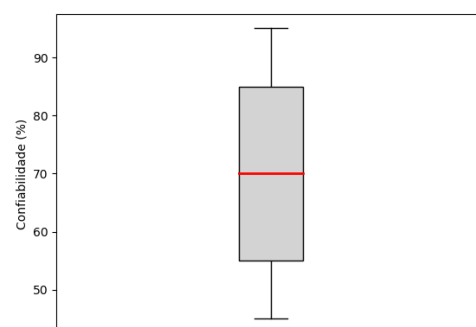
(d) Conectividade



(e) Capacidade de Armazenamento



(f) Estado da Bateria



(g) Confiabilidade

Figura 12 – Distribuição dos valores das características e informações dos objetos.

5.2.1 Chen et al.

A implementação do método de Chen et al. descrito no artigo (CHEN et al., 2015) é extremamente simples. O método executa uma busca em largura na rede, começando pelo objeto requerente, onde a lista de serviços de cada objeto é verificada. Se ele possuir um serviço que está sendo requerido, seu identificador é adicionado à lista que será devolvida ao requerente no final de sua execução. Este método analisa todos os objetos da rede que possam ser encontrados a partir do objeto inicial da busca. Quando não existem mais objetos a serem analisados o método termina sua execução e retorna a lista de objetos que possuem os serviços requeridos. Como o método varre toda a rede e não se preocupa se os serviços atendem os requisitos que podem ser estabelecidos, os objetos que oferecem serviços que já foram encontrados pelo método também são adicionados a lista de resposta, fazendo com que essa possa ter um número elevado de objetos respondidos em comparação aos outros métodos implementados.

5.2.2 Similaridade de Objetos

A implementação do método de similaridade de objetos descrito por (NITTI; PILLONI; GIUSTO, 2016) segue uma abordagem parecida da realizada em Chen et al, contudo existe a necessidade de se criar uma lista contendo a similaridades entre objetos. A lista de similaridade foi implementada utilizando uma matriz $N \times N$, onde N representa o número de objetos. As linha e colunas representam objetos, sendo a interseção de uma linha X com uma coluna Y o valor de similaridade entre os objetos X e Y . O cálculo do valor de similaridade foi realizado a partir de informações de cada objeto contida no *dataset*, onde cada informação vale um ponto na construção do valor final de similaridade entre objetos, sendo atribuído quando os objetos X e Y compartilham da mesma informação.

As informações analisadas para a construção da similaridade entre objetos foram as seguintes: (i) tipo de dispositivo; (ii) fabricante do dispositivo; e (iii) os serviços oferecidos pelos objetos. Como cada objeto pode oferecer até oito serviços distintos um ponto foi cedido para cada serviço compartilhado entre os objetos. Portanto o valor de similaridade entre objetos fica retido desta forma a faixa de zero a dez. A criação da lista de similaridade é feita antes da execução do método em si, sendo somente necessária sua consulta durante a realização da busca de serviços. A Figura 13 apresenta o exemplo de uma busca de serviços através da matriz de similaridade criada. Na Figura 13(a) o serviço *Sa* está sendo procurado pelo objeto requisitante *A* que durante a primeira iteração do método identifica por meio da matriz de similaridade que o objetos mais similar a ele é o *D*. Como o objeto *D* não possui o serviço *Sa*, o método de busca realiza uma nova iteração, apresentada na Figura 13(b), e verifica que o amigo mais similar do *D* é o objeto *E* que possui o serviço *Sa*, terminando assim a execução do método.

método varra toda a lista e não consiga encontrar todos os serviços, ele retornar os objetos que provem os serviços que já foram encontrados ou no pior caso retorna uma lista vazia.

5.3 Cenários de Avaliação

Esta seção discorre sobre a metodologia de testes realizados neste trabalho bem como as métricas utilizadas. Como forma de manter os resultados dos testes de diferentes métodos os mais confiáveis possíveis, os testes foram realizadas diversas vezes com os mesmos perfis sociais dos objetos, relacionamentos e requisições.

5.3.1 Métricas de Análise

Inicialmente para o processo de realização de testes foi necessário definir quais as métricas de análise seriam utilizadas para comparar a eficácia e a eficiência do BPS em relação aos outros dois métodos da literatura. Cinco métricas foram definidas (Tabela 2) para averiguar as execuções de cada método: (i) tempo de busca (*Service Discovery Time* (SDT)); (ii) número de objetos retornados (Number of Returned Objects (NRO)); (iii) porcentagem de requisições atendidas (Percentage of Completed Requisitions (PCR)); (iv) objetos retornados que atendem aos requisitos (Returned Objects that Meet the Requirements (ROMR)) e (v) porcentagem de requisições atendidas de acordo com os requisitos (Percentage of Completed Requisitions that Meet the Requirements (PCRMR)). As métricas (i), (ii) e (iii) são extraídas ao final da execução de uma busca de serviços. As últimas duas métricas foram estabelecidas para ser contrapartes das métricas (ii) NRO e (iii) PCR, mostrando como seriam os resultados dessas métricas, se após os métodos respondessem a requisição, fosse realizada uma verificação de requisitos para os objetos, da mesma forma como é realizada durante a execução do algoritmo BPS.

A métrica (i) SDT é o tempo que o BPS leva para responder a requisição, sendo calculada a partir do momento que o algoritmo começa a consultar a rede social para encontrar serviços até o momento em que a lista de objetos encontrados é retornada. Dessa forma, apesar de existirem processos que são realizados anteriores a busca, como carregamento da matriz de adjacência do relacionamento, perfis sociais dos objetos e entre outros, eles não são considerados para o cálculo do tempo de busca. Neste trabalho, os resultados dos tempos de busca de todos os métodos são apresentados em segundos.

A métrica (ii) NRO mostra a quantidade de objetos encontrados que conseguem prover os serviços que foram requeridos. A partir do seu resultado é possível verificar métodos que precisam de uma etapa posterior de filtragem para determinar os serviços que podem ser utilizados para atender a requisição. Obviamente métodos testados que busquem a rede social em largura e não façam uma análise prévia se o serviço ou objeto que o fornece atende a requisitos, tendem a ter um grande número de objetos retornados,

Tabela 2 – Métricas definidas para avaliar os métodos de busca.

Sigla	Nome	Description
SDT	Tempo de Busca (<i>Service Discovery Time</i>)	Tempo levado por um método para responder uma requisição por serviços.
NRO	Número de Objetos Retornados (<i>Number of Returned Objects</i>)	Quantidade de objetos retornados como resposta à uma requisição por serviços.
PCR	Porcentagem de Requisições Atendidas (<i>Percentage of Completed Requisitions</i>)	Porcentagem de requisições que receberam, como resposta, objetos que provem todos os serviços requeridos.
ROMR	Objetos Retornados que Atendem os Requisitos (<i>Returned Objects that Meet the Requirements</i>)	Quantidade de objetos retornados, pela busca, que realmente conseguem atender os requisitos.
PCRMR	Porcentagem de Requisições Atendidas de Acordo com os Requisitos (<i>Percentage of Completed Requisition that Meet the Requirements</i>)	Porcentagem de requisições que são completamente respondidas utilizando somente os objetos retornados que atendem os requisitos.

como no método de Chen et al.. Como forma de melhorar a verificação da necessidade da etapa posterior de filtragem de objetos, foi estabelecida a métrica (v) ROMR que é responsável por mostrar quantos objetos retornados pelo NRO realmente atenderiam a requisição após o processo de filtragem. A filtragem é realizada utilizando o mesmo processo realizado pelo método BPS para verificar se um objeto atende os requisitos, mas é realizado somente com os objetos retornados para a requisição depois de uma busca por serviços.

A (iii) PCR verifica qual o percentual de requisições atendidas em completude por cada método em relação a todas as requisições feitas durante os testes. Para uma requisição ser atendida em completude é necessário que a resposta a uma requisição de busca contenha objetos que consigam fornecer todos os serviços requeridos. Esta métrica consegue determinar quão eficaz está sendo o método para responder as requisições recebidas. A métrica (v) PCRMR foi estabelecida para analisar qual a porcentagem das requisições que após a passagem por uma filtragem dos objetos retornados e a exclusão dos que não estavam de acordo com os requisitos, ainda seriam respondidas em completude. Para realizar esse processo verificou-se após a filtragem realizada para determinar a métrica (iv) ROMR, se os objetos que sobrassem na resposta da requisição ainda proviam todos os serviços buscados por ela, sendo o PCRMR a porcentagem das requisições que ainda estariam sendo atendidas por esses objetos.

Além das métricas definidas anteriormente, este trabalho também avalia a esca-

labilidade dos métodos, ou seja, o comportamento da solução à medida que o número de objetos na rede aumenta. Com o intuito de verificar se uma solução é escalável, é necessário observar o comportamento das métricas de análise ao modificar o número de objetos na rede. Para realizá-lo, foi necessário dividir a rede em diversos recortes que representam redes de tamanhos variados, sendo elas compostas de quinhentos, mil, dois mil, quatro mil, doze mil e dezesseis mil objetos. Entretanto, a escolha de objetos para compor esses recortes não pode ser somente realizada de maneira aleatória, pois é necessário garantir que as amostras, independente do seus tamanhos, retratem o *dataset* original o mais fielmente possível.

Portanto a partir da análise do *dataset*, construiu-se uma tabela com os tipos de dispositivos que o compõem e qual as proporções de cada um desses tipos. Dessa forma, todo recorte criado com base no *dataset*, independente do seu tamanho, deve possuir não só todos os tipos de dispositivos encontrados, como também seguir a mesma proporções dos tipos de dispositivos. Isso garante que o recorte seja o mais consistente possível ao *dataset* original. Estabeleceu-se que pelo menos um dispositivo de cada tipo deva compor os recortes. A Tabela 3 apresenta os tipos de dispositivos e as suas respectivas proporções.

Tabela 3 – Distribuição dos tipos de dispositivos no *dataset*.

Tipo de Dispositivo	Porcentagem
<i>Smartphone</i>	22.45%
Computador Pessoal	20.72%
Carro	13.57%
Impressora	13.07%
Tablet	9.87%
<i>Smart Fitness</i>	5.43%
Estacionamentos	4.17%
Sensores Residenciais	3.70%
Iluminação Pública	3.12%
<i>Smartwatch</i>	1.23%
Transporte	0.88%
Sensores de Ambiente ou de clima	0.86%
Pontos de Interesse	0.58%
Alarmes de Segurança	0.23%
Indicador	0.06%
Caminhão de Lixo	0.04%

Vale salientar que a escalabilidade dos métodos de busca de uma rede SIoT é algo extremamente complexo de ser medido. Dessa maneira apesar de se usar um grande número de objetos nos testes, não é possível afirmar que para um número ainda maior os métodos permanecem escaláveis. Para isso seriam necessários realizar testes com um número mais elevado de objetos ou utilizar técnicas estatísticas que podem atestar indícios de escalabilidade, fugindo do escopo deste trabalho. Portanto este trabalho está identifi-

cando a escalabilidade da solução quanto ao número de dispositivos do *dataset* original, sendo essa quantidade fixada em até dezesseis mil objetos.

5.3.2 Execução dos Testes

O primeiro passo para a execução dos testes foi criar as requisições de busca de serviços que seria utilizadas pelos métodos. Essas requisições foram criadas no padrão da requisição do método BPS, apresentado na Seção 4.1, contendo o objeto requerente, a lista de serviços requeridos e a lista de requisitos. Apesar dos outros métodos não utilizarem a lista de requisitos, criar todos no mesmo arquivo foi a opção mais simples escolhida. Como o número e os objetos de cada recorte da rede são diferentes, um arquivo de requisições para cada recorte foi criado.

Cada atributo da requisição foi gerado aleatoriamente obedecendo determinados valores. O objeto requerente é obrigatoriamente um objeto pertencente a rede. Os serviços desejados são gerados a partir de uma lista de dezessete serviços possíveis do *dataset*. Dentre estes, são escolhidos quatro para formar os serviços desejados de cada requisição, de forma que um serviço já escolhido não possa ser escolhido novamente. Os requisitos são os mesmo que as características e informações dos objetos definidos na Tabela 1 e os valores escolhidos para cada requisito também é definido aleatoriamente, respeitando os valores mínimo e o máximo expostos na Tabela 1. Para determinar o número de requisições que seriam criadas foi utilizada a técnica de análise combinatória, esta definiu a quantidade de vetores de quatro serviços distintos que poderiam ser criados a partir de um total de dezesseis serviços disponíveis. Como a posição dos serviços nesse vetor não importa, foi utilizada a fórmula da combinação (Equação 1). Portanto, o resultado para a combinação $C_{17,4}$ é 2380 combinações diferentes, sendo este o número de requisições criadas para os testes deste trabalho.

$$C_{n,p} = \frac{n!}{p!(n-p)!} \quad (1)$$

Os testes são realizados separadamente, respeitando primeiro a escolha de um dos diferentes relacionamentos do *dataset* e depois realizando-os para todos os recortes do número de objetos existentes. Por exemplo, primeiro se realiza o teste do relacionamento *Co-work* para os recortes de quinhentos, mil, dois mil, quatro mil, doze mil e dezesseis mil objetos, para depois seguir para os do relacionamento *Parental* e assim por diante. Os testes de cada recorte para cada relacionamento foram realizados trinta e sete vezes, de acordo com as inferências estatísticas de tamanho de amostras definido por (HOGG; TANIS; ZIMMERMAN, 1977). Para calcular o valor dos resultados das métricas apresentados no próximo capítulo foram extraídas de cada teste as suas medianas, minimizando assim problemas com valores atípicos. Em seguida foram calculadas as médias para cada

recorte e relacionamento. Todos os testes foram realizados em uma máquina com processador i7-8750H hexa-core de 2666 MHz e 16GB de RAM DDR4.

A forma de realização de testes apresentada no parágrafo anterior define um ciclo de testes, sendo que foram realizados dois ciclos de testes para este trabalho. A realização de um segundo ciclo de testes foi motivada pela análise dos resultados das métricas de SDT e PCR do primeiro ciclo. Essas métricas apresentaram observações sobre o comportamento dos métodos de busca quando a rede está mais conectada. Demonstrando assim a necessidade de verificar como uma rede ainda mais conectada se comportaria em recortes com um número reduzido de objetos. Além disso tornar os objetos mais conectados, sobretudo nos recortes menores, proporcionou verificar o comportamento dos métodos de busca para redes de menor escala e a diferença entre relacionamentos que possuem mais conexões entre objetos que outros.

Para formar os recortes, os objetos são escolhidos de forma aleatória respeitando a distribuição do *dataset* original. Contudo, não há garantias que os objetos escolhidos para determinado recorte possuam conexões de amizade entre si, dessa forma é possível que os recortes formados não possuam muitas conexões entre seus objetos, sendo essa possibilidade ainda maior em recortes com um menor número de objetos. Como o segundo ciclo tem por objetivo verificar como os métodos de busca funcionariam em uma rede mais conectada, foi realizado o processo de preenchimento de conexões nos relacionamentos. Para isto, foram analisadas as linhas de todas as matrizes de adjacências dos relacionamentos nos recortes, onde cada linha representa um objeto. Procurou-se verificar a existência de pelo menos uma conexão entre o objeto verificado e qualquer outro no recorte. Caso não exista, são criadas entre uma a três conexões aleatórias entre aquele objeto e outros dentro do recorte. A Figura 14 apresenta o processo de criação de novas conexões na matriz de adjacência e como isso reflete nas conexões do grafo do relacionamento.

A abordagem utilizada para a criação de conexões artificiais pode criar recortes com mais conexões, contudo menos conectados, como representado na Figura 15. Geralmente as chances disso acontecer estão correlacionadas ao aumento do número de objetos do recorte. Primeiramente, por exemplo, na Figura 14(a) temos um recorte com seis objetos que formam uma rede onde os objetos *D* e *E* não possuem conexões com outros objetos. A abordagem utilizada para criar novas conexões procura por objetos que não possuam nenhuma conexão com outros objetos, ou seja, linhas na matriz de adjacência que não apresentem nenhum valor um. Para os objetos sem conexões são criados aleatoriamente, entre uma e três novas conexões, sendo a execução da abordagem observada na Figura 14(b). A Figura 14(c) apresenta a nova rede criada com suas conexões, onde é possível perceber que a rede resultante possui mais conexões e é mais conectada que a rede da Figura 14(a).

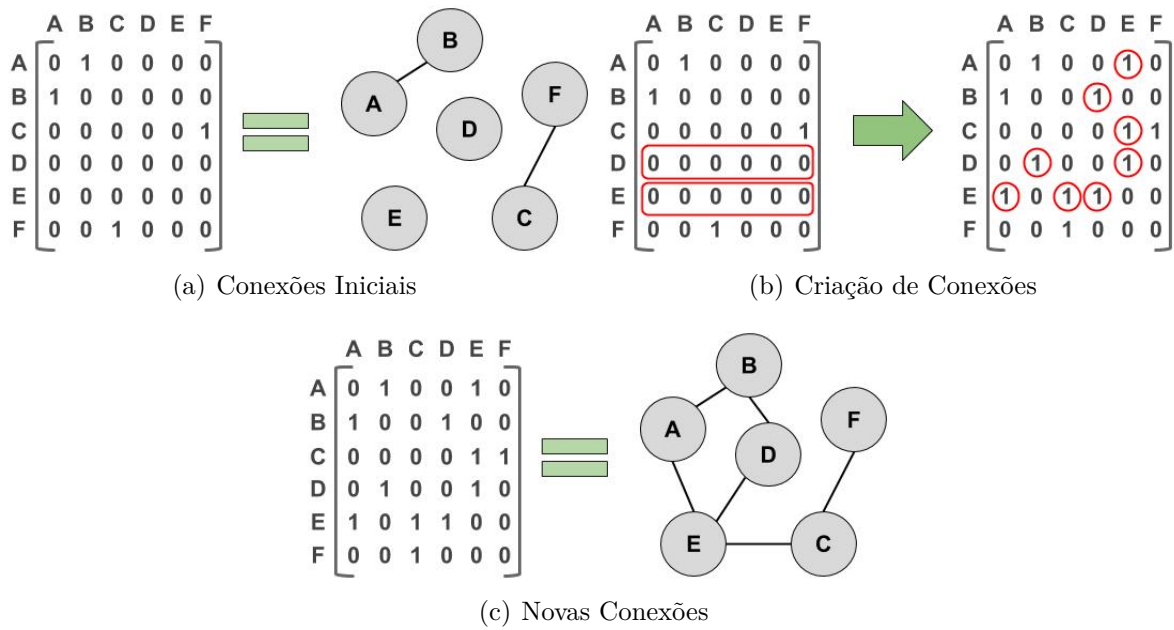


Figura 14 – Exemplo da criação de novas conexões para o segundo ciclo de testes.

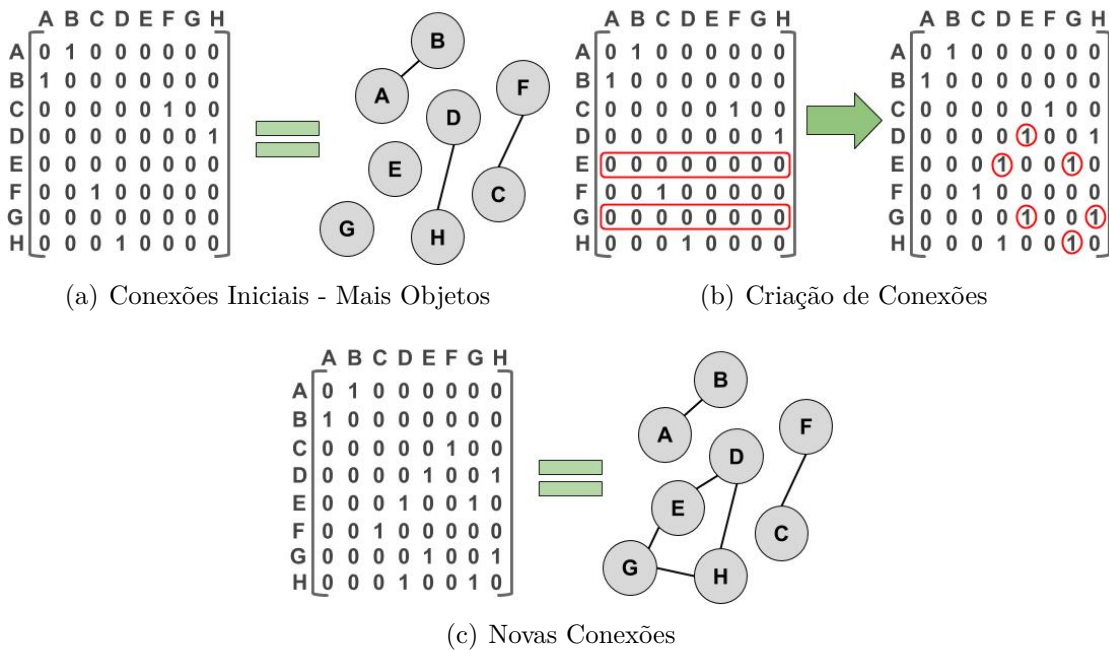


Figura 15 – Exemplo da criação de conexões levando a uma rede menos conectada.

Entretanto, ao aumentar o número de objetos de um recorte, não existe garantia que a nova rede, que será criada pelo mesmo processo de criação de conexões, se torne mais conectada do que a de um recorte anterior. Isso acontece pois ao aumentar o número de objetos, pode ser que objetos que anteriormente não tinham conexões, apresentem conexões com os novos objetos. Por exemplo, na Figura 15(a) foram adicionados os objetos *G* e *H* ao recorte, sendo que o objeto *H* tem uma conexão com o objeto *D*. Dessa forma não será mais preciso criar novas conexões para *D* como anteriormente realizado na

Figura 14. O processo de criar novas conexões para esse recorte maior é realizado na Figura 15(b), onde os objetos E e G passam pelo processo de criação de conexões. Contudo, dessa vez as conexões criadas não conectaram todos os objetos, criando assim sub-redes para este recorte, como mostrado na Figura 15(c), sendo esta rede menos conectada do que a criada anteriormente com menos objetos na Figura 14(c).

Resultados

Este capítulo apresenta e discute os resultados encontrados durante a realização dos testes dos métodos de busca de serviços em uma rede SIoT. A discussão têm como propósito avaliar os resultados do método de busca BPS proposto neste trabalho em comparação com os outros métodos disponíveis na literatura da área (CHEN et al., 2015; NITTI; PILLONI; GIUSTO, 2016). A comparação foi realizada por meio da utilização das métricas de análise definidas na Seção 5.3.1. A exposição e análise dos resultados de cada ciclo será realizada de forma isolada, sendo possível analisar os resultados para cada relacionamento contido no *dataset* de objetos. Estes resultados serão exposto por meio de tabelas e gráficos, sendo assim possível comparar a atuação do método BPS proposto neste trabalho. As Seções 6.1.5, 6.2.5 e 6.3 serão utilizadas para discutir de forma mais ampla os resultados entre relacionamentos ou entre ciclos.

6.1 Primeiro Ciclo

O primeiro ciclo de testes foi realizado a partir da utilização das ferramentas implementadas e descritas no Capítulo 5. Nesse ciclo os relacionamentos originais do *dataset* foram utilizados, sendo as conexões dos objetos idênticas as recolhidas do ambiente real. Nas próximas subseções serão apresentados os resultados obtidos por relacionamento, sendo esses resultados as médias das métricas por requisição extraídas dos testes. Duas tabelas serão utilizadas para apresentar os resultados encontrados, sendo que a primeira contém as métricas de análise do número de objetos retornados (NRO) e o número de objetos que atendem aos requisitos (ROMR) para os métodos de busca de serviços implementados. Já a segunda tabela apresenta os valores para as métricas da porcentagem de requisições atendidas (PCR) e da porcentagem de requisições atendidas de acordo com os requisitos (PCRMR). Além das tabelas, para cada relacionamento são apresentados dois gráficos, onde o primeiro contém uma visualização mais gráfica do PCRMR por meio do número de requisições atendidas. O segundo gráfico mostra os resultados do o tempo de

busca de serviços (SDT) em segundos. Nas tabelas e gráficos o nome do método de similaridade de objetos foi encurtado para similaridade como forma de melhorar a visualização dos dados. Os resultados das métricas acima citadas serão analisados para cada recorte de objetos definido durante o Capítulo 5. Essa avaliação também tornará possível avaliar a escalabilidade dos métodos de busca.

6.1.1 Relacionamento *Parental*

A métrica SDT dos métodos para o relacionamento *parental*, com valores apresentados na Figura 16, se mostra estável para os recortes menores. Contudo, ao aumentar o número de objetos, é possível observar um crescimento no SDT do método Chen et al. em relação aos demais, principalmente do recorte de doze mil em que o SDT aumentou 1100,17% em relação ao SDT de oito mil. Os outros métodos também seguem esse mesmo crescimento, entretanto em escala muito menor. Enquanto isso, nos recortes maiores o método BPS apresenta um ligeiro crescimento, passando o SDT da similaridade de objetos nos recortes de oito e doze mil e voltando a ser o mais rápido no recorte de dezesseis mil. Considerando a métrica NRO, apresentada na Tabela 4, pode-se constatar que o BPS têm o menor número de objetos retornados por recorte, sendo seu ROMR sempre idêntico ao NRO. Isso acontece pois o ROMR verifica quais objetos retornados pelo método realmente atendem a requisição quando os requisitos são considerados. O BPS já realiza esse processo de análise de requisitos durante sua busca portanto seu NRO e ROMR são idênticos.

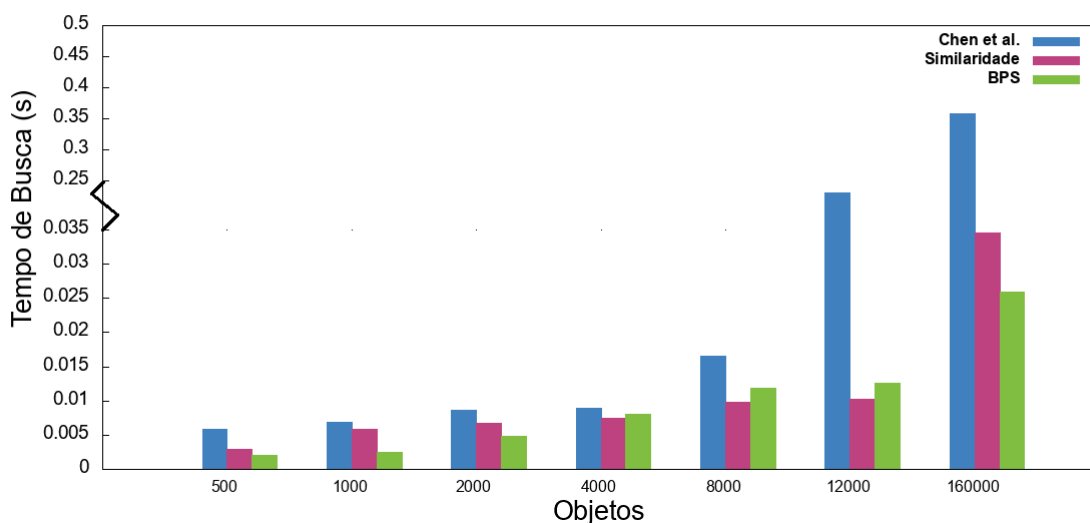


Figura 16 – Médias do SDT no relacionamento *Parental* durante o primeiro ciclo.

Podemos perceber por meio da Tabela 4 que o método Chen et al. possui um NRO altíssimo em comparação com o BPS, entretanto seu ROMR mostra que os objetos

Tabela 4 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento *Parental* no primeiro ciclo.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	NRO	ROMR	NRO	ROMR	NRO	ROMR
500	87	25	23	5	6	6
1000	254	98	15	8	18	18
2000	476	125	19	13	27	27
4000	674	217	22	19	25	25
8000	1371	347	29	18	49	49
12000	1842	423	36	25	59	59
16000	2035	387	39	29	46	46

que realmente atendem a requisição respeitando os requisitos são apenas uma parcela pequena dos retornados. Esse mesmo comportamento também é observado no método de similaridade por meio da análise dos seus NRO E ROMR. Apesar do BPS ter tido bons resultados nas métricas anteriores, seu PCR é o menor entre os métodos em todos os recortes, podendo ser observado na Tabela 5. Isto é um resultado esperado, pois o BPS acaba sendo mais seletivo ao verificar se um objeto atende aos requisitos impostos pela requisição. Já Chen et al. e similaridade possuem o mesmo PCR. Isto acontece pois os métodos consideram que não existe critérios para escolher o objeto além de que ele tenha de prover o serviço buscado, desconsiderando os requisitos da requisição. Assim os dois métodos sempre atendem as mesmas requisições independente do recorte.

Tabela 5 – Médias do PCR e PCRMR para o relacionamento *Parental* no primeiro ciclo.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	PCR	PCRMR	PCR	PCRMR	PCR	PCRMR
500	24,83%	15,07%	24,83%	8,44%	15,07%	15,07%
1000	27,91%	17,25%	27,91%	14,79%	17,25%	17,25%
2000	32,56%	22,78%	32,56%	20,26%	22,78%	22,78%
4000	40,83%	28,54%	40,83%	17,14%	28,54%	28,54%
8000	42,33%	34,23%	42,33%	25,82%	34,23%	34,23%
12000	47,45%	39,07%	47,45%	29,94%	39,07%	39,07%
16000	52,43%	44,52%	52,43%	34,07%	44,52%	44,52%

Por outro lado, se analisarmos o PCRMR de Chen et al. e similaridade podemos perceber uma queda em relação ao PCR, pois ao excluir objetos que não atendem aos requisitos das repostas das requisições, os objetos que ficam não são suficientes para atender-lá. Outro fato é que o PCRMR de Chen et al. sempre vai ser igual ao valor do PCRMR do BPS, pois uma das garantias fundamentais desse método é que ao varrer completamente a rede ele sempre vai encontrar todos os objetos que fornecem os serviços requeridos pela requisição. Dessa forma, apesar de serem retirados os objetos que não

atendem os requisitos Chen et al. ainda contém, na sua resposta, os mesmos objetos considerados bons pelo BPS. Portanto, se o BPS consegue responder uma requisição, Chen et al. também vai responder. Contudo, o mesmo não pode ser dito sobre o método de similaridade, que têm uma das maiores quedas na relação PCR E PCRM, sempre ficando abaixo dos valores do PCRM do BPS. Por último o PCR e PCRM do BPS sempre são iguais em cada recorte, devido BPS já passar pelo processo de utilizar os requisitos durante a busca, sendo assim, existe a garantia que todos os objetos retornados atendem aos requisitos. O número exato de requisições utilizadas para calcular a métrica PCRM pode ser visualizada na Figura 17.

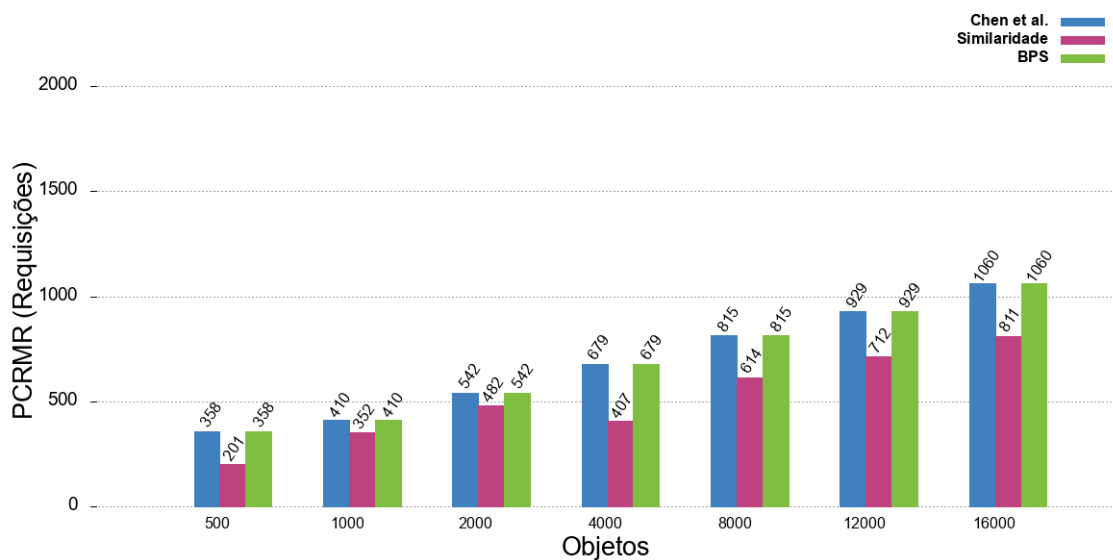


Figura 17 – Valores do PCRM para o relacionamento *Parental* no primeiro ciclo.

6.1.2 Relacionamento *Co-location*

Os resultados obtidos para os métodos de busca no relacionamento *Co-location* apresentam algumas diferenças em comparação ao relacionamento *Parental*. As diferenças podem ser verificadas principalmente nas métricas PCR e SDT que apresentam valores maiores em comparação ao relacionamento *Parental*, sendo respectivamente verificados na Tabela 7 e na Figura 18. O aumento encontrado é causado pela maior conectividade que os objetos, contidos no relacionamento, têm entre si. O SDT do algoritmo BPS nos recortes menores continua próximo do método de similaridade, entretanto ao aumentar o número de objetos, a partir do recorte de quatro mil, o BPS mantém-se com um tempo relativamente menor que os outros métodos da literatura. Sendo o aumento do SDT de Chen et al. e similaridade, para esse recorte, respectivamente de 79% e 195%. Ainda em relação ao SDT é possível perceber que Chen et al. tem um crescimento muito mais cedo do que os outros métodos avaliados, sendo esse crescimento no recorte dois mil de 333,67% em relação ao recorte anterior. As métricas NRO e ROMR apresentadas

na Tabela 6, mostram que o NRO desse relacionamento é mais alto em comparação ao *Parental*, contudo o ROMR demonstra que o número de objetos que realmente seriam utilizados é bastante menor.

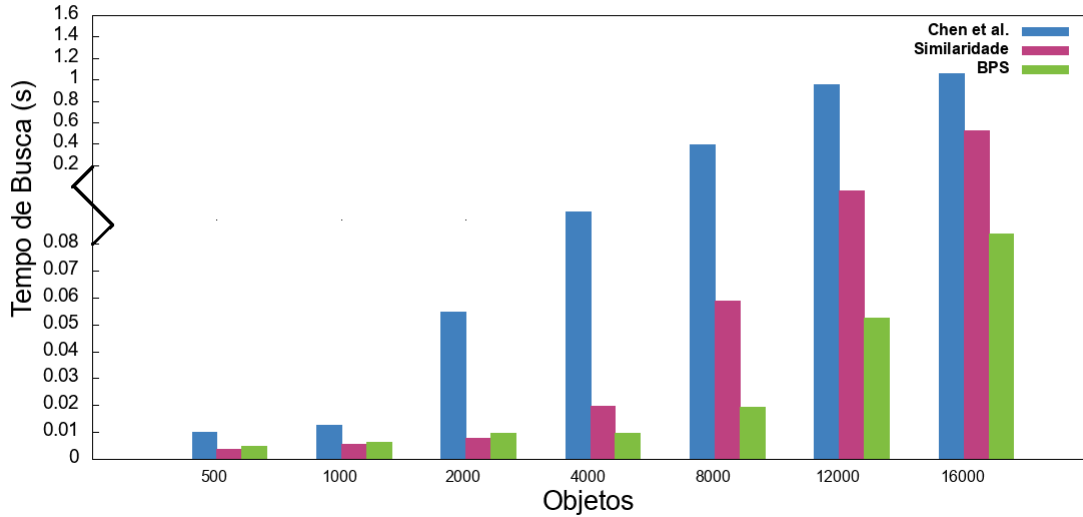


Figura 18 – Médias do SDT de busca no relacionamento *Co-location* durante o primeiro ciclo.

Tabela 6 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento *Co-location* no primeiro ciclo.

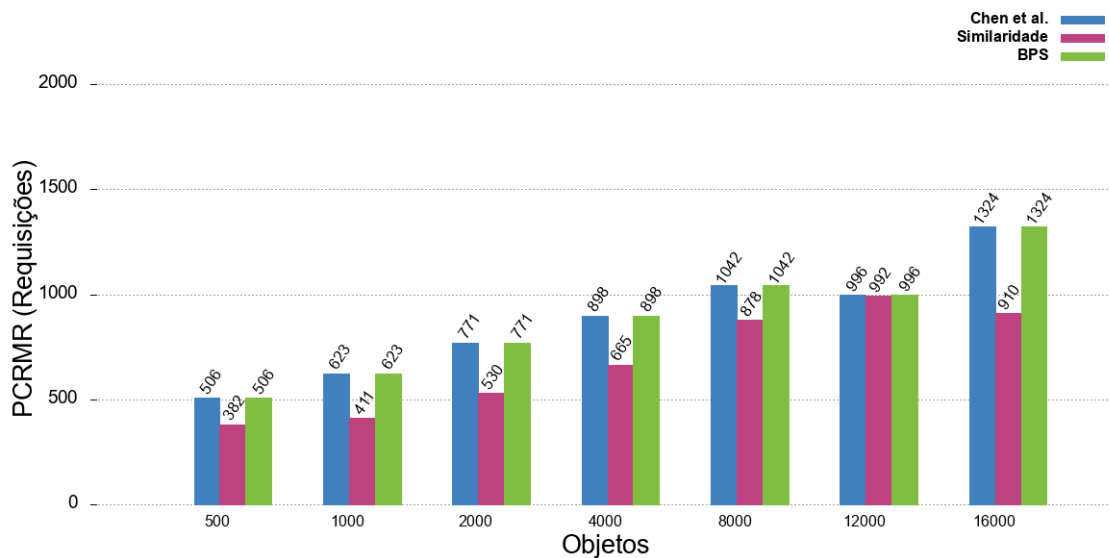
Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	NRO	ROMR	NRO	ROMR	NRO	ROMR
500	167	37	48	8	11	11
1000	298	62	85	18	19	19
2000	372	78	78	24	32	32
4000	847	169	129	37	55	55
8000	1251	201	178	46	78	78
12000	1123	182	242	59	81	81
16000	2896	261	289	58	110	110

Neste relacionamento a métrica PCR alcança um valor mais alto que o observado anteriormente no *Parental*, também sendo um efeito da maior conectividade entre objetos do relacionamento *Co-location*. O PCR do método BPS continua sendo o de menor valor em comparação aos outros métodos. Entretanto, na avaliação do PCRMR podemos perceber que os valores de Chen et al. continuam sendo os mesmos que os do BPS. Enquanto que os valores do PCRMR de similaridade, na maioria dos recortes, ficam muito abaixo do que o registrado para o BPS. A única exceção para o PCRMR da similaridade é durante o recorte de doze mil objetos onde seu valor é extremamente próximo ao do BPS e Chen et al., sendo sua variação de somente 0,52%. Os comportamentos anteriores citados também podem ser verificados no PCRMR apresentado na Figura 19. Esse comportamento

Tabela 7 – Médias do PCR e PCRM R para o relacionamento *Co-location* no primeiro ciclo.

	Chen et al.		Similaridade		BPS	
Recorte (Nº de Objetos)	PCR	PCRM R	PCR	PCRM R	PCR	PCRM R
500	30,85%	21,25%	30,85%	16,04%	21,15%	21,15%
1000	36,74%	26,18%	36,74%	17,26%	26,18%	26,18%
2000	41,88%	32,41%	41,23%	22,26%	32,41%	32,41%
4000	48,23%	37,72%	48,23%	27,97%	37,72%	37,72%
8000	56,78%	43,78%	56,78%	36,90%	43,78%	43,78%
12000	65,12%	41,89%	65,12%	41,67%	41,89%	41,89%
16000	73,51%	55,62%	73,51%	38,22%	55,62%	55,62%

também é refletido no PCR do BPS que apresentava um crescimento contínuo entre os recortes, tendo contudo durante o recorte doze mil um PCR menor do que o recorte anterior. Isso indica que os objetos escolhidos aleatoriamente para o recorte não atendiam bem os requisitos da requisição, pois apesar de as requisições serem sempre as mesmas para todos os recortes, os objetos escolhidos para cada recorte podem mudar.

Figura 19 – Valores do PCRM R para o relacionamento *Co-location* no primeiro ciclo.

6.1.3 Relacionamento *Ownership*

O relacionamento *Ownership* apresenta resultados interessantes para a análise da execução dos métodos. Os resultados para a SDT, que podem ser visualizados na Figura 20, demonstram que o método de similaridade, neste relacionamento, obteve o menor valor de SDT durante quase todos os recortes. Ocorrendo uma única exceção durante o recorte de dezesseis mil objetos, onde o BPS se torna o método com o SDT mais baixo. O SDT

dos métodos deste relacionamento apresentam valores bem baixos, esse comportamento é comum em relacionamentos onde os objetos são menos conectados, como o relacionamento *Parental*. Ao analisar a Tabela 8 é possível notar que os valores das métricas NRO e ROMR também estão bem abaixo do que no relacionamento anterior. O método BPS apresenta o menor NRO entre os métodos e ao analisar o ROMR é possível perceber que os valores para os métodos de Chen et al. e similaridades também estão bastante baixos. Isso indica que poucos objetos encontrados por esses métodos realmente poderiam ser utilizados para prover serviços ao requisitantes. Por último a análise do PCR e PCRMR, apresentados na Tabela 9, mostra que o PCR do método BPS está muito próximo dos outros métodos, mas continua sendo ainda o menor entre os métodos. O PCRMR do método Chen et al. permaneceu estável e com pouca variação em relação ao seu PCR nos recortes menores, tendo um crescimento correlato ao crescimento dos recortes. Entretanto o método de similaridade obteve uma variação muito alta entre seu PCR e PCRMR nos recortes de doze e dezesseis mil objetos, sendo elas respectivamente 38,01% e 52,01%. Os valores das requisições utilizadas para criar a PCRMR podem ser verificadas na Figura 21.

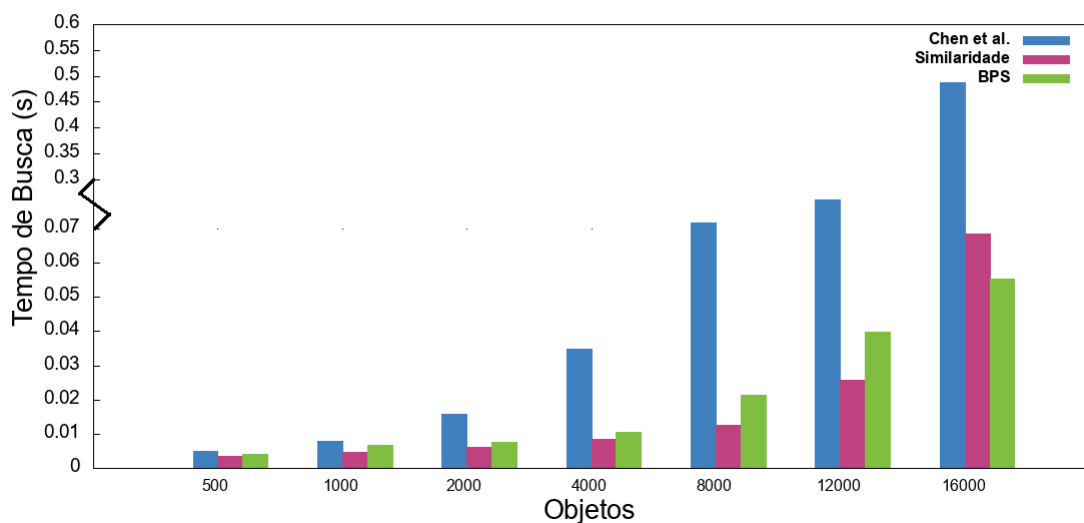


Figura 20 – Médias do SDT no relacionamento *Ownership* durante o primeiro ciclo.

6.1.4 Relacionamento *Social*

Os resultados obtidos para o relacionamento *Social* mostram um maior distanciamento entre o SDT dos métodos BPS e similaridades nos recortes menores, constatados na Figura 22. Fato até então observado somente em recortes maiores, consequentemente indicando que o método BPS trabalha muito bem com os recortes deste relacionamento. Enquanto isso o método de Chen et al. mostrar um SDT superior aos demais métodos ao realizar a busca de serviços. Isso pode ser novamente causado pelo fato deste re-

Tabela 8 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento *Ownership* no primeiro ciclo.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	NRO	ROMR	NRO	ROMR	NRO	ROMR
500	101	18	22	5	4	4
1000	194	34	33	9	15	15
2000	199	32	42	16	12	12
4000	247	47	78	23	26	26
8000	675	86	102	29	34	34
12000	1018	127	163	34	52	52
16000	1234	163	198	38	49	49

Tabela 9 – Médias do PCR e PCRM R para o relacionamento *Ownership* no primeiro ciclo.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	PCR	PCRM R	PCR	PCRM R	PCR	PCRM R
500	12,75%	12,02%	12,75%	7,77%	12,02%	12,02%
1000	11,29%	10,52%	11,29%	9,32%	10,52%	10,52%
2000	19,12%	17,89%	19,12%	14,34%	17,89%	17,89%
4000	23,78%	21,04%	23,78%	15,45%	21,04%	21,04%
8000	31,78%	27,76%	31,78%	21,24%	27,76%	27,76%
12000	46,24%	42,87%	46,24%	28,66%	42,87%	42,87%
16000	55,48%	49,52%	55,48%	26,63%	49,52%	49,52%

lacionamento possuir mais objetos conectados que o anterior. Essa afirmação pode ser confirmada através da alta dos valores do SDT que também pode ser observada no relacionamento *Co-location*, que compartilha também da característica de possuir uma maior conectividade entre objetos. Ao analisar o valor do SDT no recorte de mil objetos temos uma situação interessante onde o tempo de busca de Chen et al. é um pouco menor que o da similaridade, na razão de 24,16%. Isso ocorre geralmente quando um ou mais dos serviços requeridos estão em objetos mais próximos das extremidades do grafo, tornado a busca em largura de Chen et al. geralmente mais rápida para chegar nessas áreas que a abordagem utilizada pela similaridade.

Ao analisar a Tabela 10 é possível verificar que os valores das métricas NRO e ROMR também são maiores que nos demais relacionamentos analisados anteriormente. O BPS continua possuindo o menor NRO em relação aos outros métodos, mantendo sempre seu ROMR estável. Enquanto que o método de Chen et al. possui não só maior valor de NRO deste relacionamento, como também a maior queda em relação ao valor expresso pelo seu ROMR, onde no recorte de doze mil objetos temos uma diferença entre o seu NRO E ROMR de 90,32%. Os resultados dispostos na Tabela 11 demonstram que esse relacionamento obteve os melhores resultados para o PCR que todos os anteriores. O

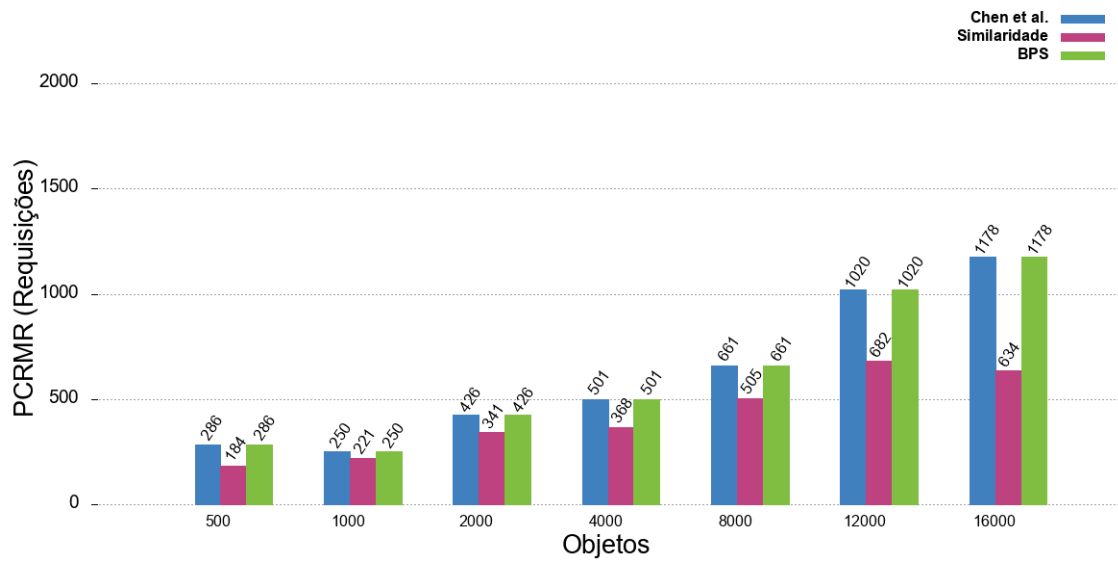


Figura 21 – Valores do PCRMR para o relacionamento *Ownership* no primeiro ciclo.

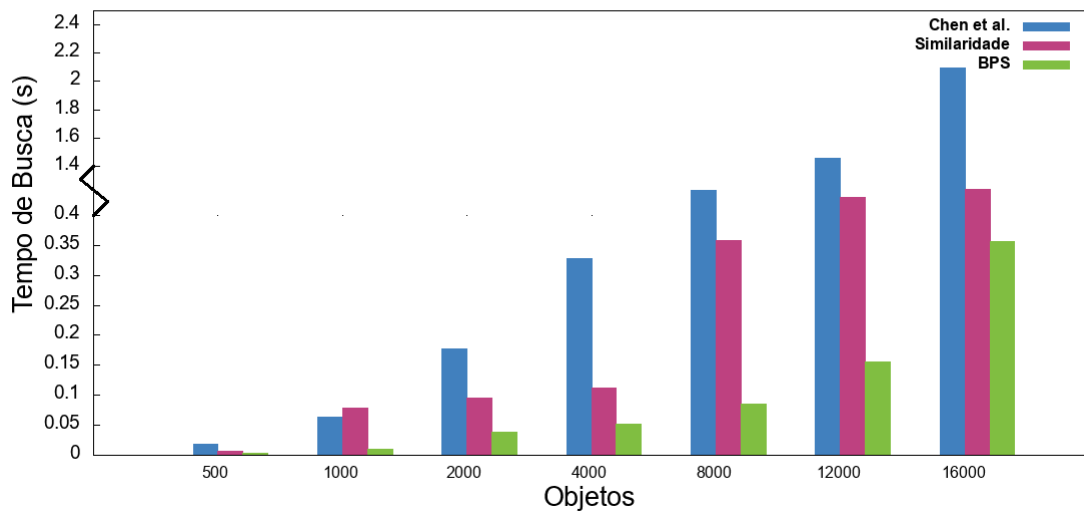


Figura 22 – Médias do SDT no relacionamento *Social* durante o primeiro ciclo.

BPS continua seguindo sua tendência de possuir o menor valor de PCR dos métodos, mas quando verificamos o PCRMR ele continua o mesmo que o de Chen et al. e possui valor mais alto do que o PCRMR do método de similaridade em todos os recortes.

6.1.5 Análise Geral dos Relacionamentos

Os resultados obtidos para os relacionamentos durante o primeiro ciclo demonstram algumas interessantes considerações sobre os métodos avaliados. Se compararmos o SDT dos métodos para o primeiro ciclo de testes é possível estabelecer que o método BPS consegue realizar a busca de serviços em uma rede SIoT em um tempo inferior aos métodos disponíveis na literatura na maioria dos relacionamentos. Entretanto, isso não é

Tabela 10 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento *Social* no primeiro ciclo.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	NRO	ROMR	NRO	ROMR	NRO	ROMR
500	187	24	64	9	7	7
1000	245	29	102	18	15	15
2000	487	62	145	26	32	32
4000	952	83	139	35	37	37
8000	1845	145	178	46	54	54
12000	2417	207	189	62	78	78
16000	2946	285	214	59	67	67

Tabela 11 – Médias do PCR e PCRM R para o relacionamento *Social* no primeiro ciclo.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	PCR	PCRM R	PCR	PCRM R	PCR	PCRM R
500	22,78%	18,14%	22,75%	15,92%	18,14%	18,14%
1000	34,25%	24,58%	34,25%	13,70%	24,58%	24,58%
2000	39,87%	34,69%	39,87%	21,92%	34,69%	34,69%
4000	47,23%	38,24%	47,23%	36,18%	38,24%	38,24%
8000	55,62%	46,87%	55,62%	33,92%	46,87%	46,87%
12000	69,34%	57,39%	69,34%	48,53%	57,39%	57,39%
16000	79,12%	63,45%	79,12%	43,51%	63,45%	63,45%

observado no relacionamento *Ownership*, onde o SDT do BPS é maior que o do método de similaridade em cinco dos sete recortes, só voltando a ser menor e abrir uma vantagem de 19,14% no último recorte. Isso é algo interessante de ser discutido, pois mostra como os métodos tem abordagens boas o suficiente para realizar a busca de serviços e mesmo assim alguns fatores, como a conectividade da rede e o número de objetos, podem aumentar ou diminuir o tempo de busca. Uma das possibilidades para o tempo pior do BPS é que os objetos escolhidos para formar os recortes no relacionamento *Ownership*, onde o BPS realizou buscas com SDT maior do que o da similaridade, dificilmente atendiam os requisitos das requisições ou não possuíam os serviços requeridos, fazendo assim com que o BPS levasse mais tempo varrendo a rede e também para atender a requisição.

Em todos os relacionamentos, o SDT do BPS e da similaridade de objetos geralmente estão abaixo do método de Chen et al., sendo este resultado esperado para o Chen et al. pela sua abordagem de busca em largura que varre toda a rede social. Esse mesmo aspecto pode ser visualizado nos valores do NRO para o método de Chen et al. que em todos os relacionamentos possui um NRO muito elevado em relação aos outros métodos. A análise da métrica ROMR mostra que grande número dos objetos contidos na resposta de Chen et al. não seriam utilizados depois pelas requisições por não passarem nos re-

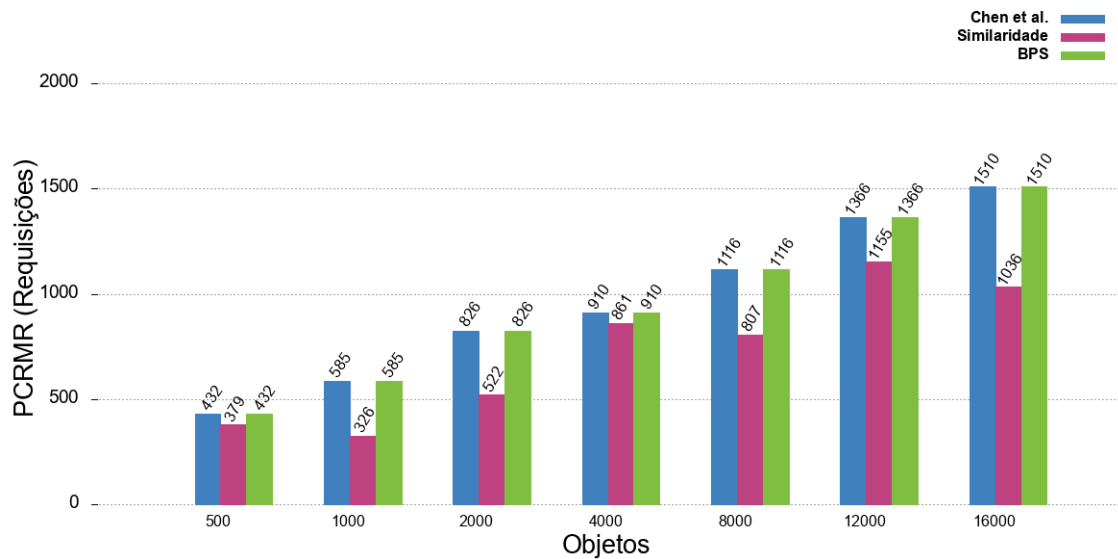


Figura 23 – Valores do PCRMR para o relacionamento *Social* no primeiro ciclo.

quisitos, isso confirma a ideia apresentada na Seção 5.2.1 da necessidade de uma etapa posterior para selecionar realmente os objetos que serão usados para prover serviços. O método de similaridade de objetos retorna um NRO bem menor se comparado ao Chen et al., mesmo assim o seu NRO ainda excede em todos os relacionamentos e recortes o NRO do BPS. Entretanto, quando avaliado pela métrica do ROMR é possível perceber que o número de objetos aptos do método de similaridade têm uma redução significativa, demonstrando também que se o método for utilizado pela busca de serviços será necessário uma etapa de filtragem de objetos posterior a busca. O NRO do BPS sempre permanece abaixo dos outros métodos, esse comportamento no BPS é um reflexo tanto da seletividade imposta pelos requisitos, impedindo que objetos que não seriam bons o suficiente atendam a requisição, como também da condição de parada adicional no BPS, diminuindo as chances de que vários objetos retornados provenham os mesmos serviços.

Contudo a vantagem que torna o valor do NRO menor no BPS também é a causa do valor da PCR ser a mais baixa entre os métodos. Por impor mais restrições na seleção de objetos e seus serviços, o BPS acaba atendendo um menor número de requisições, sendo constatado que para o primeiro ciclo de testes em todos os relacionamentos o BPS tem PCR menor do que os outros métodos. Obviamente que isso não é necessariamente culpa do método, pois como os requisitos fazem parte da requisição que é requerida pela camada de aplicações. Portanto, são as aplicações que decidem quão restritivos serão os requisitos, não sendo assim um atesto de ineficácia do método, mas uma particularidade permitida por ele. Além disso a partir da análise da métrica PCRMR é possível perceber que os valores dos outros métodos caem bastante em relação ao do BPS. Mostrando que Chen et al. mantém um PCRMR igual ao do BPS. Da mesma forma o método de similaridade possui PCRMR sempre abaixo dos valores da métrica para o BPS, sendo geralmente

valores distantes entre esses si.

A partir dos resultados obtidos das métricas SDT, NRO, ROMR, PCR e PCMRM é possível discutir sobre a escalabilidade dos métodos. Com a execução dos métodos para cada recorte é possível perceber que para o BPS e similaridade existe uma boa tendência de escalabilidade dentro daquele conjunto de no máximo dezesseis mil objetos. Sendo isso demonstrado a partir da observação dos valores do SDT, que mostram um crescimento controlado mesmo com a incrementação contínua do número de objetos. Infelizmente para verificar se a escalabilidade continuaria sendo respeitada, com a adição de novo objetos, seria necessário realizar testes com um *dataset* maior ou realizar averiguações por meio de métodos estatísticos e infelizmente ambos não puderam ser realizados até a conclusão desta pesquisa. Diferentemente do BPS e da similaridade de objetos é possível afirmar a partir dos tempos de busca de Chen et al. uma dificuldade para manter escalabilidade com o crescimento do número de objetos na rede. Sendo esse crescimento causado também pelo aumento do número de conexões entre objetos. Dessa forma existem indícios que o método Chen et al. atuaria melhor em abordagens que realizam busca em sub-redes de objetos.

Interessantemente os resultados alcançados demonstram que existem algumas características nos relacionamentos que interferem nos resultados retornados pelos métodos. Por exemplo para o primeiro ciclo, relacionamentos conhecidos por possuírem mais conexões entre seus objetos como o *Co-location* e o *Social* têm um NRO maior que os outros relacionamentos. Dessa mesma forma relacionamentos com mais conexões geralmente possuem SDT mais altos e uma maior PCR, isso é perceptível se avaliarmos o método Chen et al. que parece ser extremamente afetado pelo maior número de conexões entre objetos. A partir dessas considerações houve a necessidade de avaliar como os métodos de busca seriam afetados pelo incremento do número de conexões.

6.2 Segundo Ciclo

O segundo ciclo de testes consiste em repetir os testes realizados durante o primeiro ciclo utilizando novas matrizes de adjacência para os relacionamentos. Essas matrizes passaram por um processo de criação de conexões artificiais entre os objetos de cada recorte, sendo esse método descrito na Seção 5.3.2. Esses novos relacionamentos deixam de representar uma rede social retirada do mundo real para representar uma rede social mais conectada. O principal objetivo ao utilizar essas novas matrizes é retornar resultados que ajudem a identificar como os métodos se comportam em redes mais conectadas, o quanto isso interfere no processo de busca de serviços e como responde a escalabilidade da solução. Os resultados serão agrupados por relacionamentos e as mesmas métricas utilizadas durante o primeiro ciclo também serão analisadas, sendo estas apresentadas

por meio de tabelas e figuras, a Seção 6.2.5 será responsável por comparar os resultados entre relacionamentos e a agrupar as impressões gerais deste ciclo de testes.

6.2.1 Relacionamento *Parental*

A criação de conexões anteriormente inexistentes entre objetos beneficia principalmente os relacionamentos que já eram conhecidos por terem um menor número de conexões entre objetos, sendo o parental um deles. A Figura 24 apresenta o SDT dos métodos que em comparação ao ciclo passado estão maiores devido a criação de novas conexões. O SDT do BPS é o mais baixo entre os métodos, sendo seguido pelo método de similaridade e logo após por Chen et al. O SDT do Chen et al. alcança valores muito mais altos que durante o primeiro ciclo, além disso o seu SDT aumenta em grande proporção em relação aos outros métodos até o recorte de oito mil objetos. Neste recorte temos a ocorrência de um comportamento de pico, pois os resultados do SDT para todos os métodos, ao invés de crescerem nos próximos dois recortes começam a diminuir progressivamente, sendo do recorte oito mil para o doze mil uma diminuição do SDT na razão de 69,15% para Chen et al., 68,64% para similaridade e 74,12% para o BPS. Essa baixa é provavelmente causada por um efeito colateral da abordagem utilizada para a criação de novas conexões. Como só são criadas novas conexões em objetos que não possuem nenhum conexão, os recortes menores tem uma maior possibilidade de ter mais objetos que atendam a regra para criação do que os recortes maiores. O SDT demonstra que para os tamanhos dos recortes utilizados, o de oito mil objetos é o que possivelmente terá o maior número de objetos modificados.

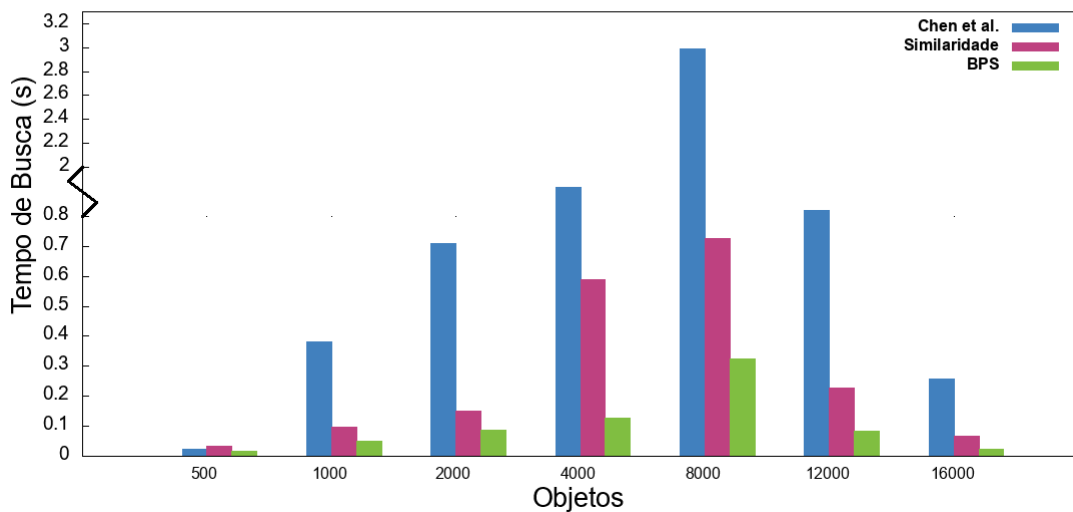


Figura 24 – Médias do SDT no relacionamento *Parental* durante o segundo ciclo.

Esse comportamento de pico no recorte de oito mil também pode ser observado nas outras métricas de análise. Os resultados das métricas NRO e ROMR apresentados

na Tabela 12, mostram que o comportamento de pico também ocorre no recorte oito mil e segue uma diminuição gradual nos valores do NRO e ROMR, em todos os métodos, para os recortes de doze e dezesseis mil objetos. Ao analisar os métodos, o BPS é o que contém o menor valor para o NRO e mantém valor parecido com os resultados para o mesmo relacionamento no primeiro ciclo, mesmo com o aumento das conexões entre objetos. O Chen et al. é o método que mais é afetado pelas novas conexões, possuindo os valores mais altos para o NRO. A análise do ROMR demonstra novamente que um grande número de objetos retornados pelos métodos de Chen et al e similaridade não atenderiam os requisitos da requisição.

Tabela 12 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento *Parental* no segundo ciclo.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	NRO	ROMR	NRO	ROMR	NRO	ROMR
500	278	62	23	9	7	7
1000	645	102	37	24	15	15
2000	1278	221	46	21	22	22
4000	2478	305	68	29	34	34
8000	3645	642	102	41	48	48
12000	2485	315	87	31	41	41
16000	1689	186	63	24	27	27

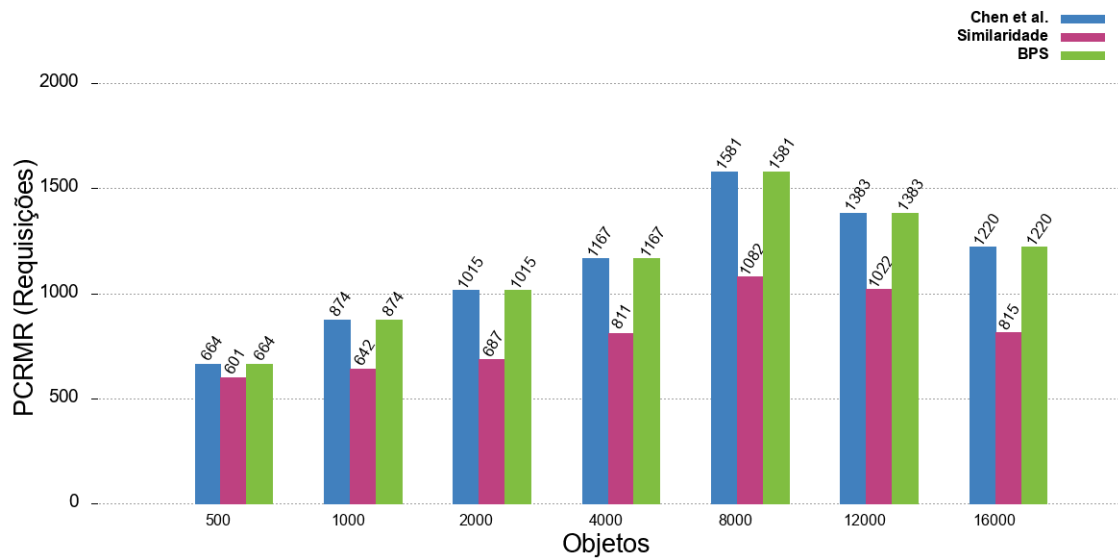
Na Tabela 13 e Figura 25 é possível avaliar os resultados para as métricas PCR e PCRMR. Primeiramente é possível notar que o aumento das conexões entre objetos fez com que PCR alcançasse valores ligeiramente mais altos que no primeiro ciclo. O método BPS continua possuindo o menor valor de PCR dos três métodos, contudo esses valores ainda estão muito próximos dos outros métodos na maioria dos recortes. Em relação ao PCRMR é possível verificar que o método de similaridade continua seguindo o padrão do primeiro ciclo, apresentando o pior resultado de PCRMR entre os métodos. O comportamento de pico também pode ser observados nas métricas PCR e PCRMR, onde o pico, da mesma forma que nas outras métricas, continua sendo o recorte de oito mil.

6.2.2 Relacionamento *Co-location*

Os resultados apresentados pelas Figura 26 e pelas Tabelas 14 e 15 mostram a atuação dos métodos durante o relacionamento *Co-location*. O comportamento de pico continua a ser repetido durante o recorte de oito mil objetos para todos os métodos e em todas as métricas analisadas. A análise da métrica SDT mostra que o método BPS continua seguindo a tendência de ter os menores valores durante a execução dos testes em comparação com os outros métodos. Para os recortes de quinhentos e mil objetos percebe-se uma proximidade dos valores do SDT para todos os métodos. Para os métodos de Chen

Tabela 13 – Médias do PCR e PCRM R para o relacionamento *Parental* no segundo ciclo.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	PCR	PCRM R	PCR	PCRM R	PCR	PCRM R
500	38,87%	27,90%	38,87%	25,24%	27,90%	27,90%
1000	38,56%	36,74%	38,56%	26,99%	36,74%	36,74%
2000	45,12%	42,65%	45,12%	28,87%	42,65%	42,65%
4000	58,74%	49,03%	58,74%	34,06%	49,03%	49,03%
8000	71,03%	66,42%	71,03%	45,45%	66,42%	66,42%
12000	65,07%	58,12%	65,07%	42,94%	58,12%	58,12%
16000	59,03%	51,25%	59,03%	34,23%	51,25%	51,25%

Figura 25 – Valores do PCRM R para o relacionamento *Parental* no segundo ciclo.

et al. e similaridade esse comportamento também foi observado nos recortes de dois mil e de dezesseis mil, sendo a diferença entre o SDT dos métodos para esses recortes de 27,31% e 25,47% respectivamente.

Ao observar o NRO é possível destacar o crescimento dessa métrica em relação aos resultados para o mesmo relacionamento no primeiro ciclo, causado pela construção de novas conexões nos relacionamentos. Entre os métodos, o BPS demonstra ainda o melhor controle sobre o NRO, mantendo-o relativamente baixo e estável durante todos os recortes, além disso o NRO do BPS é semelhante ao NRO deste mesmo relacionamento no primeiro ciclo. Para os métodos de Chen et al. e de similaridade os valores do NRO, apesar de ainda serem maiores que o do BPS, apresentam queda em relação aos do relacionamento *Parental* no segundo ciclo. Isso é causado pelo menor número de objetos que tem conexões artificiais criadas para este relacionamento, pois historicamente o relacionamento *Co-location* já é um relacionamento altamente conectado. A métrica ROMR para este relacionamento continua mostrando o grande número de objetos que

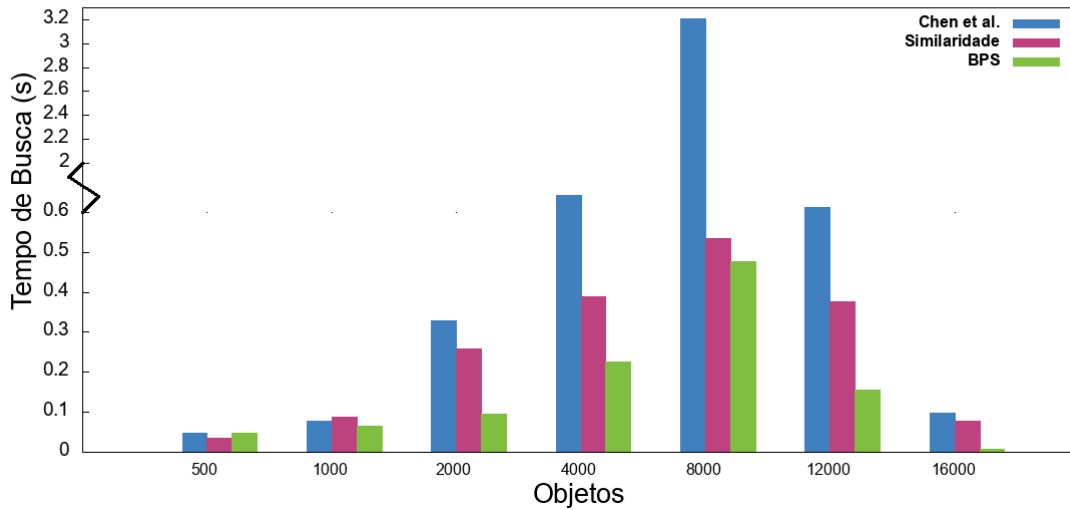


Figura 26 – Médias do SDT no relacionamento *Co-location* durante o segundo ciclo.

Tabela 14 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento *Co-location* no segundo ciclo.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	NRO	ROMR	NRO	ROMR	NRO	ROMR
500	215	68	32	12	6	6
1000	791	157	47	18	19	19
2000	1385	201	52	28	22	22
4000	2369	287	67	34	39	39
8000	3321	361	85	45	42	42
12000	2278	264	57	29	31	31
16000	1378	182	51	19	26	26

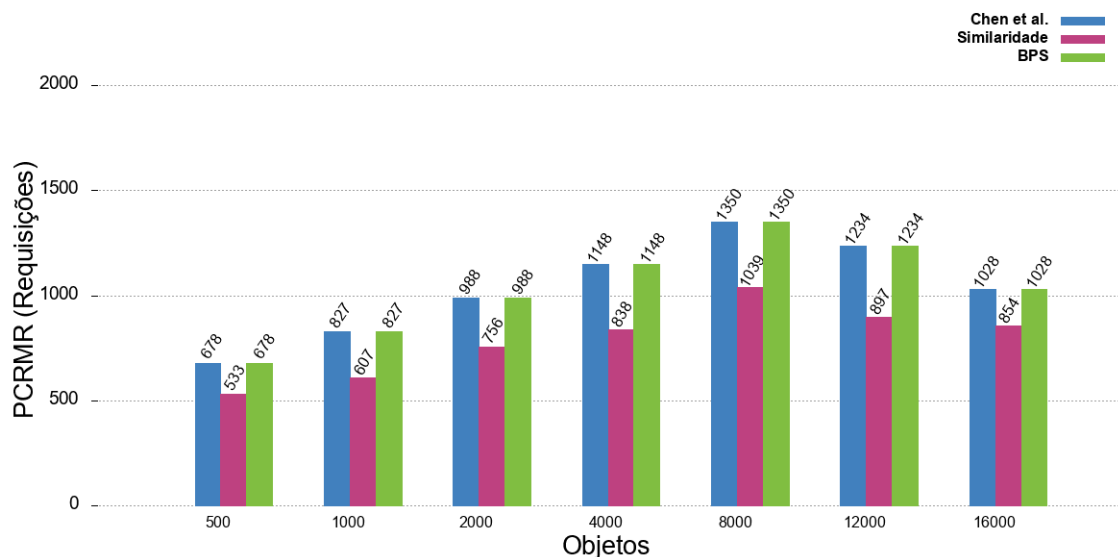
seriam descartados para os métodos de Chen et al e similaridade. Os resultados para a métrica PCR demonstram valores muito próximos entre os métodos para os recortes menores e um distanciamento gradual do PCR do BPS em relação aos outros métodos nos outros recortes. Enquanto isso, para a métrica PCRM, o método de similaridade continua seguindo o padrão de possuir o menor resultados entre os métodos, podendo ser observado na Figura 27.

6.2.3 Relacionamento *Ownership*

A métrica SDT para o relacionamento *Ownership*, apresentada na Figura 28, demonstra que o SDT do BPS permanece bastante baixo em relação os demais métodos. Contudo, no recorte de dezesseis mil objetos é possível observar que todos os métodos tem tempo de busca bastantes baixos, sendo a diferença do SDT do BPS para os outros

Tabela 15 – Médias do PCR e PCRM R para o relacionamento *Co-location* no segundo ciclo.

	Chen et al.		Similaridade		BPS	
Recorte (Nº de Objetos)	PCR	PCRM R	PCR	PCRM R	PCR	PCRM R
500	29,08%	28,47%	29,08%	22,39%	28,47%	28,47%
1000	36,45%	34,75%	36,45%	25,51%	34,75%	34,75%
2000	48,85%	41,52%	48,85%	31,75%	41,52%	41,52%
4000	56,78%	48,23%	56,78%	35,20%	48,23%	48,23%
8000	67,22%	56,74%	67,22%	43,69%	56,74%	56,74%
12000	55,45%	51,85%	55,45%	37,70%	51,85%	51,85%
16000	52,78%	43,21%	52,78%	35,89%	43,91%	43,21%

Figura 27 – Valores do PCRM R para o relacionamento *Co-location* no segundo ciclo.

métodos de 61,53% em relação a Chen et al. e 55,55% a similaridade.

A Tabela 16 apresenta os resultados das métricas NRO e ROMR, que comprovam que o método BPS continua tendo menor valor NRO do que os outros métodos, entretanto desta vez no recorte de dezesseis mil objetos o método de similaridade apresentou valor do NRO 21,87% menor que o BPS. A comparação do ROMR dos métodos mostra que Chen et al. continua tendo a maior que em relação aos valores dos seus NRO em todos os recortes. Neste relacionamento o método BPS possui valores de PCR inferiores aos dos demais métodos, apesar disso ser até agora uma característica do BPS, as porcentagem observadas na Tabela 17 são bem menores que dos relacionamentos já analisados para este ciclo. A análise da métrica PCRM R mostra que o método Chen et al. mantém seu o PCRM R maior que o dos outros métodos, inclusive durante o recorte de doze mil objetos o valor o PCRM R dele e o do método BPS tiveram a maior distância de todos os recortes, sendo essa de 29,87%. Enquanto isso o PCRM R do método de similaridade

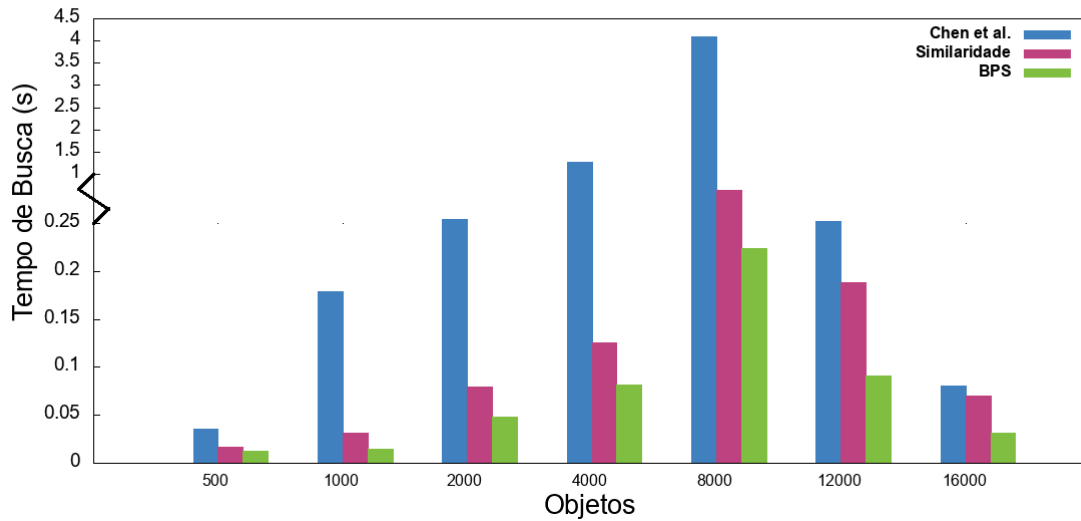


Figura 28 – Médias do SDT no relacionamento *Ownership* durante o segundo ciclo.

continua seguindo a tendência de ter o menor valor entre todos os métodos, podendo também ser verificado na Figura 29.

Tabela 16 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento *Ownership* no segundo ciclo.

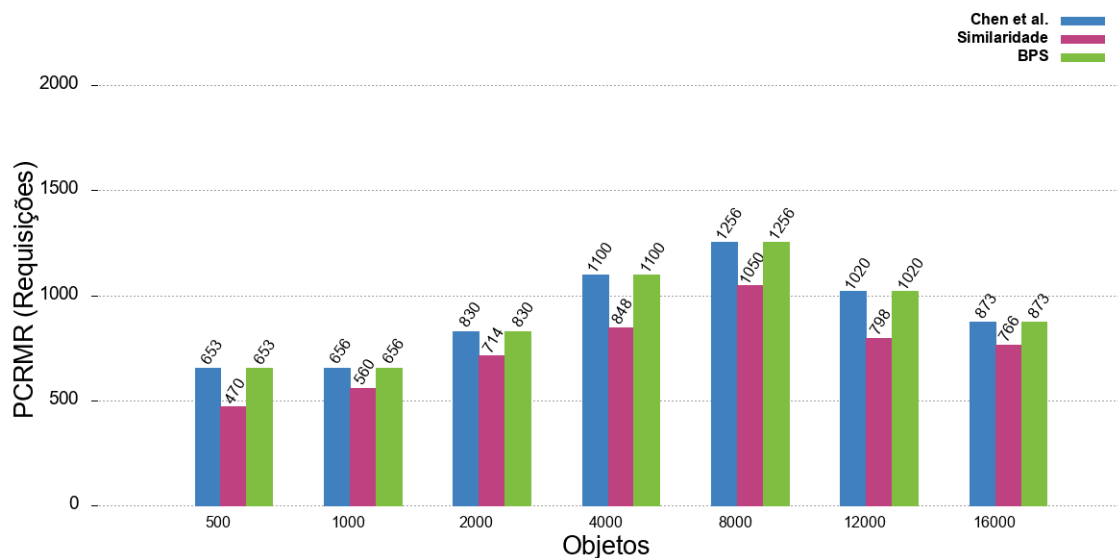
Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	NRO	ROMR	NRO	ROMR	NRO	ROMR
500	344	62	18	7	3	3
1000	679	87	26	12	5	5
2000	1340	163	37	15	8	8
4000	2459	308	48	13	17	17
8000	3502	476	63	28	37	37
12000	2641	273	43	31	42	42
16000	1342	212	32	24	39	39

6.2.4 Relacionamento *Social*

A análise da métrica SDT obtida para o relacionamento *Social* mostra, pela primeira vez no segundo ciclo de testes, que o BPS possui valor superior ao método de similaridade para um o recorte grande de objetos. Sendo a diferença de valores do SDT na razão de 29,24% para o recorte de doze mil objetos, podendo ser visualizados na Figura 30. O comportamento de pico na métrica SDT continua presente para o recorte de oito mil objetos, podendo esse comportamento também ser observado nas outras métricas de análise. Da mesma forma é possível verificar, que o método de similaridade possui SDT no recorte de dezesseis mil superior ao método Chen et al., sendo a diferença entre seus SDT de 189,02%, resultado nunca visualizados nos testes realizados até então. Além

Tabela 17 – Médias do PCR e PCRMR para o relacionamento *Ownership* no segundo ciclo.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	PCR	PCRMR	PCR	PCRMR	PCR	PCRMR
500	33,47%	27,44%	33,47%	19,75%	20,47%	20,47%
1000	42,58%	27,58%	42,58%	23,54%	27,58%	27,58%
2000	49,23%	34,88%	49,23%	30,03%	34,88%	34,88%
4000	61,46%	46,21%	61,46%	35,64%	46,21%	46,21%
8000	72,34%	52,78%	72,34%	44,12%	52,78%	52,78%
12000	65,48%	42,85%	64,48%	33,52%	42,85%	42,85%
16000	51,12%	36,67%	51,12%	32,20%	36,67%	36,67%

Figura 29 – Valores do PCRMR para o relacionamento *Ownership* no segundo ciclo.

disso é possível notar valores muito próximos para os métodos de busca nos recortes de quinhentos e mil objetos.

A Tabela 18 apresenta os resultados para as métricas NRO e ROMR, que mostram que o método BPS continua com sua característica de apresentar os mais baixos valores para o NRO, além de permanecer estável em diferentes relacionamentos. Para o ROMR, Chen et al. continua tendo a maior queda em relação ao seu NRO. Para os resultados do PCR e do PCRMR, apresentados na Tabela 19, o método BPS continua tendo o menor valor de PCR entre os métodos, sendo que nos recortes quinhentos, mil e dois mil as distâncias entre seu PCR e o de outros métodos foram as maiores já observadas nesse ciclo. Entretanto, ao analisar os resultados do PCRMR, apresentados na Figura 31, nota-se que os três métodos estão extremamente próximos para os recortes mil, dois mil e doze mil.

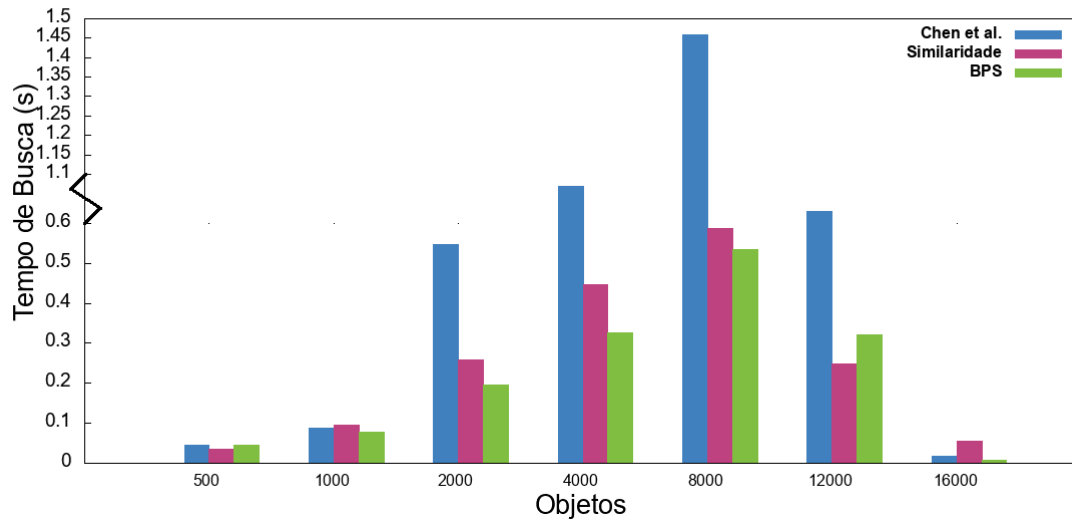


Figura 30 – Médias do SDT no relacionamento *Social* durante o segundo ciclo.

Tabela 18 – Médias do NRO e ROMR para o relacionamento *Social* no segundo ciclo.

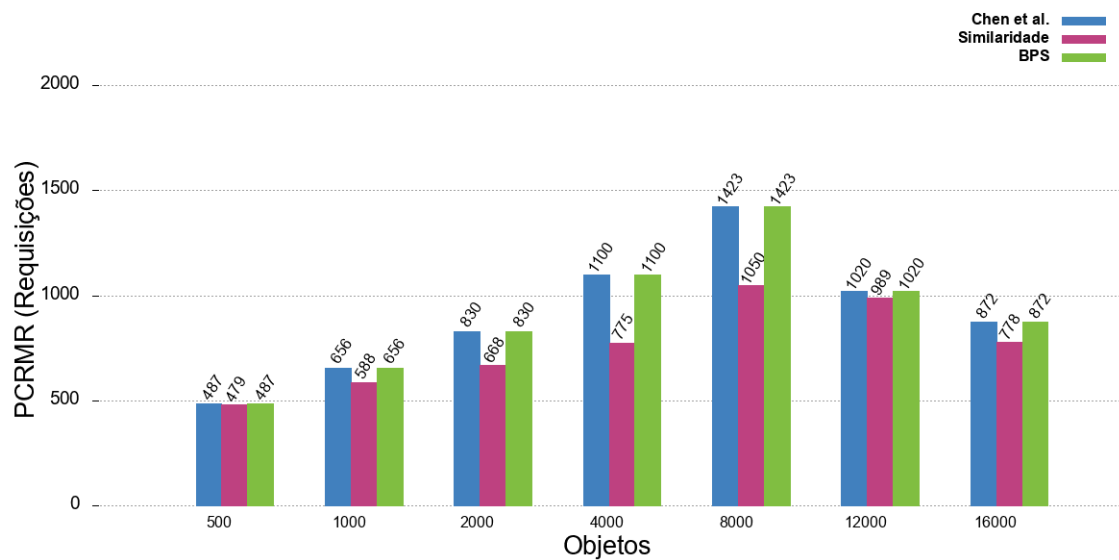
Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	NRO	ROMR	NRO	ROMR	NRO	ROMR
500	198	35	29	17	12	12
1000	486	78	34	21	27	27
2000	985	124	51	29	32	32
4000	1796	372	87	38	45	45
8000	2687	446	104	47	68	68
12000	2042	398	75	32	39	39
16000	1487	212	49	24	33	33

6.2.5 Análise Geral dos Relacionamentos

Os resultados obtidos para o segundo ciclo de busca demonstram a existência de uma relação entre o crescimento no número de conexões e o aumento dos valores das métricas SDT, NRO e PCR. Essa relação é identificada principalmente pelos comportamentos dos métodos de Chen et al. e BPS, que se beneficiam de uma rede mais conectada pela sua abordagem de busca em largura. Entretanto, em todos relacionamentos foi possível perceber que a criação de conexões entre objetos utilizando a abordagem escolhida no Capítulo 5 provoca um efeito colateral, no mínimo, curioso. Como a abordagem de criação de novas conexões parte sempre do princípio que não existe necessidade de criar conexões para objetos já conectados a outro no recorte, o processo acaba criando mais conexões em recortes menores ou relacionamentos sabidamente menos conectados, sendo este um comportamento explicado e exemplificado anteriormente na Seção 5.3.2. Esse processo portanto não cria tantas novas conexões para recortes maiores pois esses

Tabela 19 – Médias do PCR e PCRM para o relacionamento *Social* no segundo ciclo.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al.		Similaridade		BPS	
	PCR	PCRM	PCR	PCRM	PCR	PCRM
500	33,47%	20,47%	33,47%	20,12%	20,47%	20,47%
1000	42,58%	27,58%	42,58%	24,69%	27,58%	27,58%
2000	49,23%	34,88%	49,23%	28,06%	34,88%	34,88%
4000	61,46%	46,21%	61,46%	32,57%	46,21%	46,21%
8000	73,34%	59,78%	72,34%	44,12%	59,78%	59,78%
12000	65,48%	42,85%	65,48%	41,56%	42,85%	42,85%
16000	51,12%	36,67%	51,12%	32,71%	36,67%	36,67%

Figura 31 – Valores do PCRM para o relacionamento *Social* no segundo ciclo.

já possuem muito mais objetos que podem está conectados. A partir dos resultados dos relacionamentos do segundo ciclo é possível perceber que o limite para a criação de muitas conexões segue até o recorte de oito mil objetos, criando assim um comportamento de pico nesse relacionamento, que pode ser verificado em todas as métricas de análise.

Como forma de verificar se o comportamento de pico observado é causado pela afirmação feita acima, a criação artificial de conexões para cada relacionamento e recorte foi monitorada, extraindo-se o número de objetos que eram submetidos a criação dessas novas conexões, os resultados desse número de objetos são apresentados na Tabela 20. A análise do número de objetos com conexões criadas artificialmente identifica que existe um comportamento crescente neste número até o recorte de oito mil objetos, após esse recorte o número de objetos começa a cair drasticamente. Dessa forma é possível afirmar que o comportamento de pico foi causado pela abordagem utilizada para determinar se nova conexões deveriam ser criadas para um objetos. Além disso o número de objetos que passaram pelo processo de criação muda de relacionamento para relacionamento, pode-

se identificar que relacionamentos originalmente mais conectados têm menos objetos que passam pela criação de conexões.

Os resultados dos testes do segundo ciclo afirmam que o método BPS consegue manter-se com um tempo de busca muito abaixo em relação aos outros métodos, mesmo com o aumento de conexões entre objetos, salvo alguns poucos recortes. Além disso pode-se também afirmar que o aumento do número de conexões beneficia o método BPS, fazendo com que sua execução em relacionamentos mais conectados seja mais eficiente. Em relação a escalabilidade dos métodos, podemos afirmar que para até dezesseis mil objetos o método BPS e de similaridade conseguem executar suas tarefas sem grandes problemas, contudo existe a necessidade de realizar-se mais testes com um número maior de objetos conectados para averiguar os seus comportamentos. O método de Chen et al. vai de contraponto a escalabilidade em redes mais conectadas, aumentando excessivamente seu tempo de busca, sendo esse resultado esperado pela necessidade do método varrer toda a rede social antes de retornar os resultados das requisições.

6.3 Análise Geral dos Ciclos

A análise dos resultados dos ciclos de testes mostram a proeminência do método BPS em relação aos métodos existentes na literatura. Os tempos de busca (SDT) para os todos relacionamentos em ambos os ciclos ficaram geralmente abaixo dos métodos de Chen et al. e de similaridade de objetos, demonstrando também uma boa escalabilidade do método BPS dentro do conjunto de dezesseis mil objetos em ambos os ciclos. Em a métrica NRO, o BPS demonstra ser o método que retorna o menor número de objetos para as requisições. Sendo este um resultado direto da sua condição de parada adicional e da análise dos objetos que provem os serviços para determinar se eles atendem aos requisitos, como citado no Capítulo 4. Ao verificar a métrica de objetos retornados que atendem os requisitos (ROMR) foi possível observar que para todos os ciclos e relacionamentos a quantidade de objetos que não poderiam ser utilizados pelos outros métodos era gigante, mostrando a necessidade de que esses métodos realizassem uma filtragem posterior ao processo de busca de serviços.

Entretanto, percebeu-se que a análise de requisitos realizada pelo BPS acaba impactando na sua capacidade de responder totalmente as requisições. Em ambos os ciclos a PCR sempre ficou abaixo dos resultados alcançados pelos outros métodos, além de variar entre relacionamentos e saindo-se melhor em relacionamentos no qual os objetos são mais conectados e durante todo o segundo ciclo. Apesar disso ao analisar a PCRM, percebeu-se que o BPS e Chen et al. estão sempre com os mesmos valores. No entanto, comparando-se os valores do PCRM do BPS com o método de similaridade de objetos, verifica-se que o BPS sempre mantém um valor muito maior que ele. Isso demonstra como

Tabela 20 – Relação do número de objetos com conexões criadas artificialmente.

Recorte (Nº de Objetos)	Relacionamentos			
	<i>Parental</i>	<i>Co-location</i>	<i>Ownership</i>	<i>Social</i>
500	212	231	257	178
1000	375	354	412	287
2000	875	824	978	656
4000	1482	1382	1678	982
8000	2759	2131	3057	1423
12000	1287	1321	1526	845
16000	436	398	278	428

o método de similaridade não atenderia muitas requisições com os objetos retornados que realmente atendem aos requisitos.

Os resultados dos ciclos de testes para os métodos de Chen et al. e similaridade de objetos também ajudam a traçar novos caminhos para a busca de serviços. Apesar da busca em largura proposta por Chen et al. ser efetiva em encontrar os melhores serviços possíveis para as requisições, o tempo utilizado é bastante alto em comparação com os outros métodos. O segundo ciclo de teste revelou também que Chen et al. não lida muito bem com relacionamentos mais conectados precisando de um tempo muito maior que os seus colegas para atender as requisições. Além disso a quantidade de objetos retornados é exorbitante, o que torna essencial um processo de seleção dos melhores serviços posterior a busca. Dessa forma o método parece mais adequado a ser utilizado em relacionamentos menos conectados, pequenas redes SIIoT ou principalmente na avaliação de sub-redes sociais.

O método de similaridade demonstrou ser um dos mais próximos a competir com o método BPS. Os resultados de ambos os ciclos mostram que esse método também realiza suas atividades em um tempo consideravelmente baixo, atendendo as requisições com um número de objetos muito abaixo do que o método Chen et al. Apesar de atender todas as requisições possíveis em menos tempo e com um menor número de objetos que Chen et al. o método não garante a escolha dos melhores serviços como em outros métodos. Além de não garantir que os objetos retornados terão os critérios necessários para serem utilizados, como realizado pelo BPS, sendo isso observado pelos seus valores das métricas de ROMR e PCMR. Interessantemente a abordagem de busca utilizando uma matriz de similaridade realizada pelo por ele não é exclusiva e poderia ser adaptada para ser utilizada por outros métodos, podendo prover uma boa melhoria no método BPS.

A realização do primeiro ciclo de testes foi importante para verificar como os métodos de busca de serviços funcionam em redes SIIoT, enquanto que o segundo ciclo apresenta como os métodos se comportam em redes com objetos mais conectados. Ape-

sar dos relacionamentos no segundo ciclo não representarem mais uma rede SIoT real eles ajudam a identificar os problemas que os métodos podem enfrentar em redes mais conectadas. Além disso o segundo ciclo, em seus resultados, mostrou que os métodos conseguem uma porcentagem maior de requisições completas quando os relacionamentos estão mais conectados. Infelizmente a abordagem utilizada para criar as novas conexões provocou um comportamento de pico nos métodos, dificultando um pouco a análise da escalabilidade, entretanto esse comportamento ajudou a identificar como a conexão dos objetos é importante para uma rede SIoT. Essa importância nos leva a questionar se existe uma forma de selecionar os melhores relacionamentos para um determinada requisição por serviços, diminuindo assim os recursos computacionais utilizados pela busca.

Conclusão

Neste trabalho foi proposto um método de busca de serviços em redes SIoT, chamado de BPS, o qual utiliza as características e informações presentes nos perfis sociais dos objetos para tornar a busca mais eficiente e eficaz. O BPS consiste em realizar uma varredura em largura do grafo que representa a rede SIoT, utilizando duas condições de parada. Na primeira, todos os serviços procurados foram encontrados terminando imediatamente a execução do método. Na segunda condição, não existem mais objetos na rede a serem analisados e por isso o método é finalizado. Além das condições de parada, o BPS também inclui na sua abordagem de busca a verificação de que o objeto que prover os serviços requeridos também atende os requisitos estabelecidos pela requisição. O BPS analisa se as características e informações dos perfis sociais dos objetos atendem aos requisitos estabelecidos. Se atender, o objeto pode ser escolhido para prover o serviço. Caso contrário, o objeto é descartado e a busca na rede continua.

Para verificar sua eficiência, foram realizados testes comparando o BPS com outros trabalhos de busca de serviços da literatura. Foram definidas cinco métricas para analisar como os métodos se comportavam durante o processo de busca. As métricas definidas são o tempo de busca (SDT), número de objetos retornados (NRO), percentual de requisições completas (PCR), objetos retornados consoantes aos requisitos (ROMR) e percentual de requisições completas consoantes aos requisitos (PCRMR). Os testes foram realizados utilizando um *dataset* real contendo dezesseis mil objetos específico de uma rede SIoT. A partir do *dataset* foram realizados testes em recortes com diferentes quantidades de objetos, com o intuito de aferir a escalabilidade da solução.

Os resultados obtidos suportam as considerações feitas durante o trabalho sobre a eficácia e eficiência do BPS. Observou-se o menor tempo de busca e de objetos retornados gerados pela execução do BPS em comparação com os outros métodos. Os resultados também mostram que pelo seu caráter mais seletivo, o BPS não consegue atender o mesmo número de requisições que os outros método quando os objetos não são avaliados através dos requisitos da requisição, sendo isso não uma restrição do método mais sim um efeito

colateral da possibilidade de informar requisitos que ele proporciona. Entretanto, quando se utiliza os requisitos para verificar se os objetos retornados atenderiam a requisição, percebe-se que o método BPS atende o mesmo número de requisições que outros métodos da literatura. Entretanto, os resultados obtidos são suficientes para demonstrar que a utilização das características e informações dos perfis sociais dos objetos ajudam a melhorar a funcionalidade de busca de serviços do *middleware* SIoT. Os resultados também identificaram correlações entre as métricas de análise e o estado das conexões dos relacionamentos, havendo um crescimento nas métricas quando a rede era mais conectada. Essa observação também revelou que determinados relacionamentos, por serem sabidamente mais conectados que outros, também apresentam melhores resultados para as métricas em relação a relacionamentos menos conectados.

Como todo trabalho acadêmico diversas, limitações foram encontradas durante a sua realização. Inicialmente, o número de objetos do *dataset* utilizado para a realização de testes não permite afirmar se os métodos avaliados poderão manter a escalabilidade identificada em redes maiores do que dezesseis mil objetos. Desta forma, é necessário que haja a realização de testes em redes que possuam um número maior de objetos. Outra limitação do *dataset* é que ele não possui informações sobre o relacionamento *Co-work*. Desta forma, não foi possível analisar o desempenho dos métodos para este relacionamento. O comportamento de pico causado por um efeito colateral da abordagem utilizada para criar conexões artificiais durante o segundo ciclo de testes provou ser uma limitação para a análise da escalabilidade dos métodos em redes mais conectadas. Contudo, muitas informações conseguiram ser extraídas a partir dessa limitação, principalmente sobre o comportamento da rede SIoT.

Como trabalhos futuros, serão realizados testes para um maior número de objetos, utilizando também todos os cinco relacionamentos descritos na literatura. Também será avaliado como o BPS se comportaria em uma rede mais volátil, já que uma rede SIoT estará em constante mudança. Tal mudança pode ser por meio da entrada e saída de objetos da rede, alterações nos valores das características e informações dos objetos ou até mesmo pela criação e dissolução de amizades entre os objetos. Outro trabalho futuro gerado a partir dos resultados é a avaliação dos efeitos dos tipos de relacionamentos nas funcionalidades do *middleware* SIoT.

Referências

- ALABA, F. A. et al. Internet of things security: A survey. **Journal of Network and Computer Applications**, Elsevier, v. 88, p. 10–28, 2017.
- ALVES, T. M. et al. Exploring the social internet of things concept in a university campus using nfc. In: IEEE. **Computing Conference (CLEI), 2015 Latin American**. [S.l.], 2015. p. 1–12.
- ARAÚJO, I. et al. Service discovery based on social profiles of objects in a social iot network. In: SPRINGER. **International Conference on Computational Science and Its Applications**. [S.l.], 2019. p. 400–414.
- ATZORI, L.; CARBONI, D.; IERA, A. Smart things in the social loop: Paradigms, technologies, and potentials. **Ad Hoc Networks**, Elsevier, v. 18, p. 121–132, 2014.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. **Computer networks**, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
- _____. Siot: Giving a social structure to the internet of things. **IEEE communications letters**, IEEE, v. 15, n. 11, p. 1193–1195, 2011.
- ATZORI, L. et al. The social internet of things (siot)–when social networks meet the internet of things: Concept, architecture and network characterization. **Computer networks**, Elsevier, v. 56, n. 16, p. 3594–3608, 2012.
- ATZORI, L.; NITTI, M.; MARCHE, C. **Social Internet of Things**. 2016. Disponível em: <<http://www.social-iot.org/index.php?p=downloads>>.
- BAQER, M. Enabling collaboration and coordination of wireless sensor networks via social networks. In: IEEE. **2010 6th IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems Workshops (DCOSSW)**. [S.l.], 2010. p. 1–2.
- BRITTES, M. P.; JR, B. S.; WILLE, E. C. Trustworthiness management through social relationships in internet of medical things. **Journal of Communication and Information Systems**, v. 32, n. 1, 2017.
- CHEN, G. et al. A social network based approach for iot device management and service composition. In: IEEE. **Services (SERVICES), 2015 IEEE World Congress on**. [S.l.], 2015. p. 1–8.

CIRANI, S. et al. A scalable and self-configuring architecture for service discovery in the internet of things. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, v. 1, n. 5, p. 508–521, 2014.

DAR, K. et al. Adaptable service composition for very-large-scale internet of things systems. In: ACM. **Proceedings of the 8th Middleware Doctoral Symposium**. [S.l.], 2011. p. 2.

EVANS, D. The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything. **CISCO white paper**, v. 1, n. 2011, p. 1–11, 2011.

FARRIS, I. et al. Social virtual objects in the edge cloud. **IEEE Cloud Computing**, IEEE, v. 2, n. 6, p. 20–28, 2015.

GIRAU, R.; MARTIS, S.; ATZORI, L. Lysis: A platform for iot distributed applications over socially connected objects. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, v. 4, n. 1, p. 40–51, 2017.

GUINARD, D. et al. Interacting with the soa-based internet of things: Discovery, query, selection, and on-demand provisioning of web services. **IEEE transactions on Services Computing**, IEEE, v. 3, n. 3, p. 223–235, 2010.

HOGG, R. V.; TANIS, E. A.; ZIMMERMAN, D. L. **Probability and statistical inference**. [S.l.]: Macmillan New York, 1977. v. 993.

HUANG, C.-M. et al. The social internet of thing (s-iot)-based mobile group handoff architecture and schemes for proximity service. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, IEEE, v. 5, n. 3, p. 425–437, 2017.

HUH, S.; CHO, S.; KIM, S. Managing iot devices using blockchain platform. In: IEEE. **2017 19th international conference on advanced communication technology (ICACT)**. [S.l.], 2017. p. 464–467.

JADHAV, B.; PATIL, S. Wireless home monitoring using social internet of things (s-iot). In: IEEE. **Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT), International Conference on**. [S.l.], 2016. p. 925–929.

JARA, A. J. et al. Mobile digcovery: A global service discovery for the internet of things. In: IEEE. **2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops**. [S.l.], 2013. p. 1325–1330.

KAFLE, V. P.; FUKUSHIMA, Y.; HARAI, H. Internet of things standardization in itu and prospective networking technologies. **IEEE Communications Magazine**, IEEE, v. 54, n. 9, p. 43–49, 2016.

KHODADADI, F.; DASTJERDI, A. V.; BUYYA, R. Simurgh: A framework for effective discovery, programming, and integration of services exposed in iot. In: IEEE. **2015 International Conference on Recent Advances in Internet of Things (RIoT)**. [S.l.], 2015. p. 1–6.

KIM, J. E.; FAN, X.; MOSSE, D. Empowering end users for social internet of things. In: ACM. **Proceedings of the Second International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation**. [S.l.], 2017. p. 71–82.

- KLUSCH, M. Service discovery. In: _____. **Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining**. New York, NY: Springer New York, 2014. p. 1707–1717. ISBN 978-1-4614-6170-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6170-8_121>.
- KRANZ, M.; ROALTER, L.; MICHAHELLES, F. Things that twitter: social networks and the internet of things. In: **What can the Internet of Things do for the Citizen (CIoT) Workshop at The Eighth International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2010)**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–10.
- LEE, I.; LEE, K. The internet of things (iot): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, Elsevier, v. 58, n. 4, p. 431–440, 2015.
- LI, L. et al. Modeling and analyzing the reliability and cost of service composition in the iot: A probabilistic approach. In: IEEE. **Web Services (ICWS), 2012 IEEE 19th International Conference on**. [S.l.], 2012. p. 584–591.
- MARIN, A.; WELLMAN, B. Social network analysis: An introduction. **The SAGE handbook of social network analysis**, v. 11, 2011.
- MIORI, V.; RUSSO, D. Improving life quality for the elderly through the social internet of things (siot). In: IEEE. **2017 Global Internet of Things Summit (GIIoTS)**. [S.l.], 2017. p. 1–6.
- MOHAMMED, F. H.; ESMAIL, R. Survey on iot services: Classifications and applications. **International Journal of Science and Research (IJSR)**, v. 4, n. 1, p. 2124–2127, 2015.
- NGU, A. H. et al. Iot middleware: A survey on issues and enabling technologies. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, v. 4, n. 1, p. 1–20, 2016.
- NITTI, M.; ATZORI, L.; CVIJIJKJ, I. P. Network navigability in the social internet of things. In: IEEE. **2014 IEEE world forum on internet of things (WF-IoT)**. [S.l.], 2014. p. 405–410.
- NITTI, M.; GIRAU, R.; ATZORI, L. Trustworthiness management in the social internet of things. **IEEE Transactions on knowledge and data engineering**, IEEE, v. 26, n. 5, p. 1253–1266, 2013.
- NITTI, M.; PILLONI, V.; GIUSTO, D. D. Searching the social internet of things by exploiting object similarity. In: IEEE. **Internet of Things (WF-IoT), 2016 IEEE 3rd World Forum on**. [S.l.], 2016. p. 371–376.
- ORTIZ, A. M. et al. The cluster between internet of things and social networks: Review and research challenges. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, v. 1, n. 3, p. 206–215, 2014.
- PASLEY, J. How bpel and soa are changing web services development. **IEEE Internet Computing**, IEEE, v. 9, n. 3, p. 60–67, 2005.
- QUEVEDO, J. et al. On the application of contextual iot service discovery in information centric networks. **Computer Communications**, Elsevier, v. 89, p. 117–127, 2016.

RODRIGUEZ-MIER, P. et al. An integrated semantic web service discovery and composition framework. **IEEE transactions on services computing**, IEEE, v. 9, n. 4, p. 537–550, 2015.

SANTOS, B. P. et al. Internet das coisas: da teoria á prática. **Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuidos**, 2016.

WANG, K. et al. Toward trustworthy crowdsourcing in the social internet of things. **IEEE Wireless Communications**, IEEE, v. 23, n. 5, p. 30–36, 2016.

Apêndices

APÊNDICE **A**

Tabelas dos Resultados

Este apêndice têm como objeto apresentar as tabelas com os resultados dos testes utilizados para criar os gráficos da métrica de tempo de busca (SDT) dos métodos implementados por este trabalho e utilizados no Capítulo 6. As tabelas contam os resultados dos testes realizados durante os ciclos e para os relacionamentos *Parental*, *Co-location*, *Ownership* e *Social*. Para cada recorte dos relacionamentos os testes foram realizados trinta e sete vezes como forma de manter os resultados estatisticamente confiáveis, os tempos de busca apresentados são as médias das medianas desses testes sendo os resultados apresentados em segundos.

A.1 Primeiro Ciclo

A.1.1 Relacionamento *Parental*

Tabela 21 – Médias dos tempos de busca para o relacionamento *parental* no primeiro ciclo de testes.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al. (s)	Similaridade de Objetos (s)	BPS (s)
500	0,00589783	0,00285789	0,00206789
1000	0,00685521	0,00585213	0,00250157
2000	0,00857895	0,00678952	0,00485954
4000	0,00898587	0,00745096	0,00802583
8000	0,01654589	0,00985478	0,01187954
12000	0,19857894	0,01025485	0,01258549
16000	0,35878047	0,03458754	0,02587895

A.1.2 Relacionamento *Co-location*

Tabela 22 – Médias dos tempos de busca para o relacionamento *Co-location* no primeiro ciclo de testes.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al. (s)	Similaridade de Objetos (s)	BPS (s)
500	0,00987857	0,00387598	0,00487589
1000	0,01258733	0,00542153	0,00624315
2000	0,05458796	0,00785789	0,00965478
4000	0,09789652	0,01987593	0,00983257
8000	0,38965241	0,05879358	0,01952478
12000	0,95102878	0,12587469	0,05247890
16000	1,05878952	0,52487932	0,08385412

A.1.3 Relacionamento *Ownership*

Tabela 23 – Médias dos tempos de busca para o relacionamento *Ownership* no primeiro ciclo de testes.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al. (s)	Similaridade de Objetos (s)	BPS (s)
500	0,00489752	0,00358758	0,00418795
1000	0,00785895	0,00458793	0,00678542
2000	0,01587952	0,00625585	0,00750289
4000	0,03475256	0,00854887	0,01054893
8000	0,09580653	0,01247858	0,02145879
12000	0,20845896	0,02587895	0,03985480
16000	0,48796526	0,06854582	0,05542036

A.1.4 Relacionamento *Social*

Tabela 24 – Médias dos tempos de busca para o relacionamento *Social* no primeiro ciclo de testes.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al. (s)	Similaridade de Objetos (s)	BPS (s)
500	0,01879582	0,00587925	0,00389584
1000	0,06345859	0,07879321	0,01078258
2000	0,17782569	0,09487852	0,03854785
4000	0,32879589	0,11245879	0,05258963
8000	0,90287858	0,35809582	0,08578526
12000	1,45893249	0,75859693	0,15589659
16000	2,09859628	0,92458792	0,35723642

A.2 Segundo Ciclo

A.2.1 Relacionamento *Parental*

Tabela 25 – Médias dos tempos de busca para o relacionamento *Parental* no segundo ciclo de testes.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al. (s)	Similaridade de Objetos (s)	BPS (s)
500	0,02482489	0,03287465	0,01824785
1000	0,38054782	0,09858858	0,04859324
2000	0,70852482	0,15201458	0,08541365
4000	1,52478965	0,58936458	0,12564853
8000	2,98782960	0,72536548	0,32548593
12000	0,92145398	0,22745829	0,08422546
16000	0,25874982	0,06568457	0,02218432

A.2.2 Relacionamento *Co-location*

Tabela 26 – Médias dos tempos de busca para o relacionamento *Co-location* no segundo ciclo de testes.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al. (s)	Similaridade de Objetos (s)	BPS (s)
500	0,04852647	0,03587458	0,04852659
1000	0,07854726	0,08854723	0,06578213
2000	0,32875896	0,25821783	0,09548249
4000	1,07963258	0,39004523	0,22548932
8000	3,20452893	0,53562820	0,47759302
12000	0,71478253	0,37742589	0,15478268
16000	0,09854725	0,07854239	0,00875839

A.2.3 Relacionamento *Ownership*

Tabela 27 – Médias dos tempo de busca para o relacionamento *Ownership* no segundo ciclo de testes.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al. (s)	Similaridade de Objetos (s)	BPS (s)
500	0,03594487	0,01625851	0,01272197
1000	0,17845836	0,03089734	0,01505903
2000	0,30549267	0,07957896	0,04829563
4000	1,27108796	0,12588234	0,08125948
8000	4,08259313	0,76058789	0,22343880
12000	0,26687746	0,18879850	0,09098465
16000	0,08057981	0,06974523	0,03099698

A.2.4 Relacionamento *Social*

Tabela 28 – Médias dos tempos de busca para o relacionamento *Social* no segundo ciclo de testes.

Recorte (Nº de Objetos)	Chen et al. (s)	Similaridade de Objetos (s)	BPS (s)
500	0,04589851	0,03478592	0,04478299
1000	0,08851296	0,09658426	0,07845925
2000	0,54782690	0,25782253	0,19578932
4000	0,98470280	0,44785932	0,32548965
8000	1,45785935	0,58781454	0,53402304
12000	0,71458239	0,24859355	0,32128743
16000	0,01874893	0,05418931	0,00780428