

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Centro de Desenvolvimento Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Computação**



Tese

**VISO: uma abordagem para gestão dinâmica das relações entre objetos na  
Internet das Coisas Social**

**Leandro da Silva Camargo**

Pelotas, 2023

**Leandro da Silva Camargo**

**VISO: uma abordagem para gestão dinâmica das relações entre objetos na  
Internet das Coisas Social**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Marilza Pernas  
Coorientador: Prof. Dr. Adenauer Correa Yamin

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação da Publicação

C172v Camargo, Leandro da Silva

VISO [recurso eletrônico] : uma abordagem para gestão dinâmica das relações entre objetos na Internet das Coisas Social / Leandro da Silva Camargo ; Ana Marilza Pernas, orientadora ; Adenauer Correa Yamin, coorientador. — Pelotas, 2023.

117 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Computação, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Ambiente inteligente. 2. Círculo social. 3. Objeto virtual. 4. Recomendação de amizade. 5. Social IoT. I. Pernas, Ana Marilza, orient. II. Yamin, Adenauer Correa, coorient. III. Título.

CDD 005

**Leandro da Silva Camargo**

**VISO: uma abordagem para gestão dinâmica das relações entre objetos na Internet das Coisas Social**

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação, Programa de Pós-Graduação em Computação, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

**Data da Defesa:** 08 de dezembro de 2023

**Banca Examinadora:**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Marilza Pernas (orientadora)

Doutora em Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Adenauer Corrêa Yamin (coorientador)

Doutor em Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Marilton Sanchotene de Aguiar

Doutor em Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Jorge Luis Victória Barbosa

Doutor em Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Pinto Mota

Doutora em Educação em Ciências pela Universidade Federal de Rio Grande.

Dedico...

Aos meus pais, Maria Auxiliadora e Salvador, que muitas vezes renunciaram aos seus sonhos, para que eu pudesse realizar os meus.

Aos meus irmãos, Marcel e Sandro, pela amizade, auxílio e torcida nesta caminhada.

À minha companheira, Sarah, pelo carinho, tolerância e todo o incentivo.

Aos meus filhos, Julia e Henrique, pelos momentos que não estivemos juntos e souberam entender.

A vocês minha eterna gratidão!

## AGRADECIMENTOS

À professora, Ana Pernas, pelo acolhimento e a maneira atenciosa com a qual acompanhou todos os momentos dessa jornada. Sou eternamente grato pelas trocas e valiosos ensinamentos.

Ao professor, Adenauer Yamin, que sempre elevou nossas conversas e trouxe luz nos momentos de dificuldade. Certamente é uma fonte de inspiração com seu afeto, atenção, didática e profundo conhecimento, tais qualidades fazem a diferença na vida de todos ao seu redor.

No papel de orientação, ambos atuaram brilhantemente, trazendo significativas contribuições para o meu desenvolvimento profissional e pessoal. Aliás, fica a certeza de que sou muito melhor após ter cruzado o caminho destes docentes incríveis.

Aos professores Jorge, Marilton e Fernanda que compuseram a banca de qualificação e da defesa desta Tese, indicando melhorias textuais e sugestões de abordagens balizadoras para o aprimoramento desta produção científica.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Computação (PPGC) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), pela colaboração na formação, paciência nas explicações, bem como, na excelência dos materiais compartilhados durante as aulas.

Aos colegas em sala de aula e no laboratório, pelo companheirismo e desafios vencidos na realização das atividades de ensino e pesquisa.

À secretaria, pela calorosa recepção, organização e atendimento a todas as requisições, mesmo antes do meu ingresso no curso.

À UFPel e comunidade acadêmica em geral, por toda a estrutura disponibilizada durante a formação, assim como, pelos esforços na manutenção das atividades de forma ininterrupta ao longo desse processo formativo.

Ao Instituto Federal Sul-rio-grandense, pelo incentivo ao aperfeiçoamento e a possibilidade de dedicação integral a esta capacitação, isso certamente impacta na qualidade do trabalho apresentado.

Aos familiares, pela compreensão nos momentos de ausência, como também, pelo apoio incondicional, incentivo e motivação para superar todos os obstáculos, sempre.

Às demais pessoas que contribuíram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, ou ainda, que tenham participado da minha trajetória de vida, embora não estejam nominalmente destacadas, sintam-se reconhecidas.

A Deus, que todas as manhãs concedeu o fôlego da vida, salvaguardou a mim e a toda família durante o período pandêmico. Também pela graça do convívio com todas estas pessoas admiráveis.

Obrigado a todos vocês. Como retribuição, eu buscarei sempre ser um instrumento de amor, atenção e cuidado aos que me cercam.

*"Inspiration exists, but it has to find you working."*

— PABLO PICASSO

## RESUMO

CAMARGO, Leandro da Silva. **VISO: uma abordagem para gestão dinâmica das relações entre objetos na Internet das Coisas Social**. Orientador: Ana Marilza Pernas. 2023. 117 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

Em meio à rápida expansão da tecnologia, as diferentes aplicações baseadas na Internet das Coisas estão ganhando espaço em vários setores, como casas inteligentes, saúde, dispositivos vestíveis e muito mais. Nesse contexto, o foco central desta tese se dá na gestão dos relacionamentos e materializa-se na abordagem *Virtual Interactions between Social Objects* (VISO). Esta abordagem apresenta os aspectos funcionais que uma arquitetura centrada na Social IoT deve abranger, enfatizando particularmente a recomendação de amizades entre objetos. Contribuições adicionais incluem: (i) simplificar as interações dos objetos; (ii) fornecer recomendações contextuais para amizades, e; (iii) integração de objetos em círculos sociais. O modelo proposto para a classificação dos relacionamentos baseia-se no PageRank, uma técnica de análise de *links* desenvolvida para avaliar interações e destacar a importância das conexões entre indivíduos. A VISO também incorpora a teoria das redes sociais organizacionais, do inglês *Organizational Network Analysis* (ONA), para estruturar os círculos sociais, agilizando a identificação de novas amizades. Ao fundir estas técnicas, a complexidade do ambiente é simplificada com o agrupamento de objetos em comunidades. Isso aprimora recomendações socialmente conscientes e serviços ou amizades personalizadas. Logo, como contribuição científica destaca-se: (i) modificação do algoritmo PageRank incorporando a métrica social da Confiança Direta, determinada por meio de avaliações realizadas por dispositivos da borda após cada interação; (ii) melhoria da classificação dos dispositivos por meio da atribuição de papéis associados a metodologia ONA, permitindo que os dispositivos mais relevantes respondam requisições, e; (iii) utilização de algoritmos de classificação exclusivamente para os objetos mais ativos e influentes no ambiente. Os resultados da validação indicam que a abordagem VISO pode reduzir a complexidade das recomendações, concentrando-se nos 7% dos objetos ativos mais representativos. Esses objetos são responsáveis por 90% das interações nos círculos sociais. Os resultados são promissores e consistentes quando aplicados tanto a dados reais de objetos que interagem livremente no ambiente quanto a dados sintéticos gerados em um ambiente simulado. Além disso, reforçam a capacidade do modelo de categorizar as interações dos objetos relevantes e priorizá-los na indicação aos novos relacionamentos.

Palavras-chave: Ambiente Inteligente. Círculo Social. Objeto Virtual. Recomendação de Amizade. Social IoT.

## ABSTRACT

CAMARGO, Leandro da Silva. **VISO: an approach for dynamic relationships management between objects in the Social Internet of Things**. Advisor: Ana Marilza Pernas. 2023. 117 f. Thesis (Doctorate in Computer Science) – Technology Development Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

Amidst the rapid expansion of technology, different *Internet of Things* (IoT)-based applications are gaining traction across various industries, including smart homes, healthcare, wearable devices, and more. In this context, the central focus of this thesis is to introduce the concept of *Virtual Interactions between Social Objects* (VISO). This approach addresses the functional aspects that a Social IoT-centric architecture must cover, with particular emphasis on autonomous object friendship recommendations. Additional contributions include: (i) simplifying interactions between objects; (ii) providing timely friend recommendations; and (iii) suggesting the formation of social circles. The proposed model for classifying relationships is based on PageRank, a link analysis technique developed to evaluate interactions and highlight the importance of connections between individuals. The VISO methodology also incorporates the theory of organizational social networks to structure social circles, expediting the identification of new friendships. By merging these techniques, the complexity of the environment is simplified by grouping objects into communities, enhancing socially conscious recommendations and personalized services or friendships. As a scientific contribution, the following highlights stand out: (i) the modification of the PageRank algorithm to incorporate the social metric of Direct Trust, determined through evaluations conducted by edge devices after each interaction; (ii) enhancement of device classification by assigning roles associated with the *Organizational Network Analysis* (ONA) methodology, enabling the most relevant devices to respond promptly to requests; and (iii) the exclusive use of classification algorithms for the most active and influential objects within the environment. Validation results indicate that the VISO approach can streamline the complexity of service or information searches by focusing on the top 7% of the most representative active objects. Furthermore, it encompasses objects responsible for 90% of environmental interactions within social circles. These promising results hold true when applied to both real data from freely interacting objects in the environment and synthetic data generated in a simulated environment. Moreover, these results affirm the model's ability to categorize crucial object interactions to indicate new relationships.

Keywords: Friendship Recommendation. Smart Environment. Social Circle. Social IoT. Virtual Object.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fluxo básico de interações em um ambiente IoT tradicional . . . . .	22
Figura 2	Fluxo de mensagens na Social IoT . . . . .	23
Figura 3	Relações estabelecidas entre os objetos da <i>Social Internet of Things</i> . . . . .	25
Figura 4	Mecanismo de classificação de páginas WEB baseado no PageRank . . . . .	29
Figura 5	Elementos centrais da <i>Organizational Network Analysis</i> (ONA) . . . . .	31
Figura 6	Esboço do protocolo de pesquisa para a Revisão Sistemática de Literatura (RSL) . . . . .	32
Figura 7	Resultados obtidos na fase de triagem dos artigos da RSL . . . . .	35
Figura 8	Resumo da fase de classificação dos trabalhos analisados . . . . .	36
Figura 9	<i>Framework</i> de interação direta entre objetos no DCIM . . . . .	38
Figura 10	Arquitetura da plataforma Social Pal, com agrupamentos de objetos semelhantes . . . . .	39
Figura 11	<i>Framework</i> para estabelecer amizades no DANOS, baseado nos interesses em comum . . . . .	41
Figura 12	<i>Framework</i> TCDP para composição de comunidades com base na confiança . . . . .	42
Figura 13	Arquitetura da plataforma UniCAT, com recomendações baseadas no <i>feedback</i> . . . . .	43
Figura 14	Arquitetura do sistema <i>Service Recommendation</i> . . . . .	44
Figura 15	Fluxo do <i>Data Aggregation</i> sobre os dados gerados na Social IoT . . . . .	45
Figura 16	Arquitetura do <i>framework Services Provider</i> para seleção de provedor na IoT . . . . .	46
Figura 17	Arquitetura do <i>framework</i> ResIoT para mapeamento das relações com base na reputação . . . . .	48
Figura 18	Arquitetura modular flexível do EDT . . . . .	49
Figura 19	Logomarcas associadas a abordagem <i>Virtual Interactions between Social Objects</i> (VISO) . . . . .	55
Figura 20	Fluxo de interações na abordagem VISO para um objeto inserido no ambiente inteligente . . . . .	56
Figura 21	Diagrama de sequência para virtualização de um objeto . . . . .	59
Figura 22	Interface para controle do ambiente inteligente . . . . .	60
Figura 23	Conjunto de Interfaces voltadas ao proprietário de objetos inteligentes . . . . .	62
Figura 24	Configurações iniciais do objeto no ambiente . . . . .	63
Figura 25	Modelagem das atividade referentes ao Objeto e ao Círculo Social, na notação <i>Structure Analysis and Design Techniques</i> (SADT) . . . . .	64
Figura 26	Método para organização das relações entre os objetos . . . . .	66

Figura 27	Simulação do cálculo de peso do vértice adotando o PageRank (PR)	69
Figura 28	Comparação dos valores de PageRank gerados pelas Equações 3 e 4	69
Figura 29	Taxonomia dos dados vinculados a cada Objeto Virtual na Social IoT	73
Figura 30	Visão abstrata dos níveis de interatividade na abordagem VISO	76
Figura 31	Modelo conceitual da arquitetura VISO	78
Figura 32	Modelo funcional implementado na arquitetura VISO	80
Figura 33	Obtenção dos dados de um objeto diretamente da nuvem do fabricante em formato <i>JavaScript Object Notation</i> (JSON)	81
Figura 34	Código-fonte para coleta dos dados de um objeto inteligente na nuvem do fabricante	82
Figura 35	Resultado da classificação gerada pelo modelo implementado	94
Figura 36	Classificação de nodos disseminadores	95
Figura 37	Recorte simplificado dos dados de interações gerados no simulador	97
Figura 38	Identificação de Nó Central, com variação de 50 a 250 objetos socializando	98
Figura 39	Teste massivo com 250 Objetos interagindo no ambiente	99
Figura 40	Qualificações de Objetos Centrais mais relevantes após 10.000 interações	99
Figura 41	Objetos com baixa qualificação após 10.000 interações	100
Figura 42	Os 10 grupos mais significativos que representam 30% dos objetos e 90% das interações	101
Figura 43	Atalho para a página de materiais complementares deste trabalho	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Simulação da Confiança do Objeto correlacionando a importância da interação com a avaliação do serviço prestado . . . . .	28
Tabela 2	Detalhamento dos artigos qualificados após a RSL, considerando o buscador e o veículo de publicação . . . . .	37
Tabela 3	Comparação da abordagem proposta com o estado da arte à luz da principal contribuição e do modelo arquitetural . . . . .	50
Tabela 4	Detalhamento da estrutura básica demandada pela abordagem VISO para a persistência dos dados . . . . .	74
Tabela 5	Características funcionais dos algoritmos que integram a abordagem VISO . . . . .	83
Tabela 6	Comparação entre a abordagem VISO e outras soluções propostas para Social IoT . . . . .	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ACM</b>	<i>Association for Computing Machinery</i>
<b>ACO</b>	<i>Ant Colony Optimization</i>
<b>ANN</b>	<i>Artificial Neural Network</i>
<b>API</b>	<i>Application Interface Programming</i>
<b>CAPES</b>	<i>Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior</i>
<b>CF</b>	<i>Collaborative Filtering</i>
<b>CLEI</b>	<i>Latin American Computer Conference</i>
<b>COFECUB</b>	<i>Comité Français d'Évaluation de la Coopération Universitaire et Scientifique avec le Brésil</i>
<b>D</b>	<i>Direct Trust</i>
<b>DANOS</b>	<i>Dynamic and Anthropomorphic Network of Objects System</i>
<b>DCIM</b>	<i>Dynamic Community of Interest Model</i>
<b>DT</b>	<i>Decision Tree</i>
<b>DOI</b>	<i>Digital Object Identifier</i>
<b>EDT</b>	<i>Edge Digital Twin</i>
<b>EXEHDA</b>	<i>Execution Environment for Highly Distributed Applications</i>
<b>F</b>	<i>Feedback</i>
<b>FGCS</b>	<i>Future Generation Computer Systems</i>
<b>HTTP</b>	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
<b>IEEE</b>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
<b>INPI</b>	<i>Instituto Nacional da Propriedade Industrial</i>
<b>IoT</b>	<i>Internet of Things</i>
<b>JSON</b>	<i>JavaScript Object Notation</i>
<b>KDI</b>	<i>Knowledge-Desire-Intention</i>
<b>KNN</b>	<i>K-Nearest Neighbors</i>
<b>LA</b>	<i>Link Analysis</i>
<b>LUPS</b>	<i>Laboratory of Ubiquitous and Parallel Systems</i>
<b>MAC</b>	<i>Media Access Control</i>

<b>MDP</b>	<i>Matching Device Phase</i>
<b>MQTT</b>	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
<b>M2M</b>	<i>Machine to Machine</i>
<b>n</b>	Número total de vértices/dispositivos ativos
<b>NB</b>	<i>Naive Bayes</i>
<b>ONA</b>	<i>Organizational Network Analysis</i>
<b>OSF</b>	<i>Open Science Framework</i>
<b>OV</b>	Objeto Virtual
<b>PPGC</b>	Programa de Pós-Graduação em Computação
<b>PR</b>	PageRank
<b>QE</b>	Questão Específica de Pesquisa
<b>RBIE</b>	Revista Brasileira de Informática na Educação
<b>REPENSER</b>	<i>Smart Recommendation, Personalization, and Adaptation of Learning Trajectories</i>
<b>REST</b>	<i>Representational State Transfer</i>
<b>RM</b>	<i>Relationship Management</i>
<b>RSL</b>	Revisão Sistemática de Literatura
<b>RSSI</b>	<i>Received Signal Strength Indication</i>
<b>SADT</b>	<i>Structure Analysis and Design Techniques</i>
<b>SBAI</b>	Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente
<b>SBC</b>	Sociedade Brasileira de Computação
<b>SBCUP</b>	Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva
<b>SEMISH</b>	Seminário Integrado de Software e Hardware
<b>SeSAm</b>	<i>Shell for Simulated Agent Systems</i>
<b>SIoT</b>	<i>Social Internet of Things</i>
<b>SGBD</b>	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
<b>SNA</b>	<i>Social Network Analysis</i>
<b>StArt</b>	<i>State of the Art through Systematic Review</i>
<b>t</b>	Tempo/iteração
<b>TCDP</b>	<i>Trustworthy Community Detection Phase</i>
<b>TF</b>	<i>Transactional Factor</i>
<b>UFPeI</b>	Universidade Federal de Pelotas
<b>v</b>	Vértice/Nodo
<b>VISO</b>	<i>Virtual Interactions between Social Objects</i>
<b>WebMedia</b>	<i>Brazilian Symposium on Multimedia and Web</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	Problema e Objetivos da Pesquisa	18
1.2	Contribuições Esperadas	19
1.3	Organização do Documento	20
<b>2</b>	<b>EMBASAMENTO TEÓRICO</b>	<b>21</b>
2.1	Internet das Coisas Social	21
2.2	Socialização entre Objetos	23
2.3	Tipos de Relações Sociais na Social IoT	24
2.4	Gestão de Relacionamentos em Social IoT	26
2.5	Técnicas de <i>Link Analysis</i>	28
2.6	Metodologia <i>Organizational Network Analysis</i>	30
<b>3</b>	<b>ESTADO DA ARTE NA GESTÃO DE RELACIONAMENTOS</b>	<b>32</b>
3.1	Revisão Sistemática de Literatura	33
3.2	Trabalhos Relacionados Qualificados na RSL	36
3.2.1	<i>Building dynamic communities of interest for Internet of Things in smart cities</i>	36
3.2.2	<i>Social Pal: a combined platform for Internet of Things and social networks</i>	39
3.2.3	<i>A decentralized recommendation engine in the Social Internet of Things</i>	40
3.2.4	<i>Computational resource allocation for edge computing in Social Internet of Things</i>	41
3.2.5	<i>Creating personalized recommendations in a smart community by performing user trajectory analysis through Social Internet of Things deployment</i>	42
3.2.6	<i>A social relationships based service recommendation system for SIoT devices</i>	44
3.2.7	<i>Performance comparison of machine learning algorithms for data aggregation in social internet of things</i>	45
3.2.8	<i>Relevant node discovery and selection approach for the Internet of Things based on neural networks and ant colony optimization</i>	46
3.2.9	<i>A social edge-based IoT framework using reputation-based clustering for enhancing competitiveness</i>	47
3.2.10	<i>A flexible and modular architecture for edge digital twin: implementation and evaluation</i>	48
3.3	Análise das Abordagens	50

<b>4</b>	<b>ABORDAGEM VISO: UMA CONTRIBUIÇÃO À SOCIALIZAÇÃO ENTRE OBJETOS DA INTERNET DAS COISAS</b>	<b>54</b>
4.1	<b>Apresentação</b>	55
4.2	<b>Mapeamento do Ambiente Inteligente</b>	56
4.3	<b>Virtualização do Objeto</b>	57
4.4	<b>Modelagem das Entidades Chave</b>	62
4.5	<b>Método para Formação de Comunidades</b>	64
4.6	<b>Método de Classificação das Relações</b>	65
4.7	<b>Método de Recomendação e de Socialização</b>	67
4.7.1	Implementação do Mecanismo de Recomendação de Amizades	70
4.7.2	Demanda de Dados para a Virtualização do Objeto	72
4.7.3	Persistência dos Dados de Suporte à Abordagem VISO	73
4.7.4	Suporte ao acoplamento da abordagem VISO a um <i>Middleware</i>	75
4.8	<b>Modelo Arquitetural da VISO</b>	76
4.8.1	Modelo Abstrato	76
4.8.2	Modelo Conceitual	77
4.8.3	Modelo Funcional	78
4.9	<b>Síntese da Abordagem VISO</b>	83
4.10	<b>Diferenciais Estratégicos do Modelo Concebido</b>	84
4.10.1	Potenciais Contribuições	87
4.10.2	Potenciais Limitações	89
<b>5</b>	<b>EXPERIMENTOS DE AVALIAÇÃO</b>	<b>91</b>
5.1	<b>Validações com o Uso de Dados Reais</b>	91
5.1.1	Caracterização do Cenário Real de Coleta dos Dados	91
5.1.2	Especificação do Conjunto de Dados	92
5.1.3	Resultados Preliminares do Modelo	93
5.2	<b>Validações com o Uso de Dados Sintéticos</b>	95
5.2.1	Atribuição do Papel de Nó Central aos Objetos	97
5.2.2	Identificação das Relações Sociais	98
5.2.3	Composição dos Círculos Sociais	100
5.3	<b>Síntese das Validações</b>	101
5.4	<b>Perspectiva de Aplicação da VISO em Educação</b>	102
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>105</b>
6.1	<b>Contribuições da abordagem VISO</b>	106
6.2	<b>Publicações Realizadas</b>	106
6.2.1	Publicações como Primeiro Autor	107
6.2.2	Publicações como Coautor	109
6.2.3	Publicações de Materiais Complementares	110
6.3	<b>Trabalhos Futuros</b>	110
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>112</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Desde o seu início, as interações humanas com a tecnologia vêm moldando diversos aspectos da sociedade. Nas últimas décadas, a automação transformou rapidamente nossas vidas, impactando em como buscamos e acessamos informações, utilizamos serviços e realizamos transações. Isso afeta as estruturas sociais humanas ao longo do tempo e influencia a maneira como as interações ocorrem por meio da tecnologia (HÜLÜR; MACDONALD, 2020).

Os avanços acelerados nos últimos anos, na fabricação de sensores e/ou atuadores de baixo custo, na concepção de protocolos de comunicação, no desenvolvimento de sistemas embarcados, somados à miniaturização do *hardware* contribuíram para o crescimento exponencial da Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT) (ZHANG et al., 2023). No presente, objetos físicos do mundo real podem ser incorporados a essas tecnologias, habilitando-os como objetos inteligentes.

Os objetos inteligentes se integram à rotina diária das pessoas de forma pervasiva, materializando-se em relógios, eletrodomésticos e veículos, agora dotados com recursos para a detecção, o processamento e a transmissão de dados. Essas funcionalidades possibilitam a comunicação entre os objetos através da Internet, os quais estabelecem relações sociais livre de uma intervenção humana, para promover a cooperação, a troca de informações e a composição de novos serviços. Isso contribui para a concepção do paradigma da Social IoT ou *Social Internet of Things* (SIoT) (SAGAR et al., 2021).

Com a expansão tecnológica, os aplicativos baseados na IoT se estabelecem em cenários de cidades inteligentes, casas inteligentes, redes inteligentes e fábricas inteligentes, visando satisfazer necessidades, interesses e objetivos humanos (DHIMAN; NAGAR; KADRY, 2022). A crescente variedade de dispositivos IoT consumindo e utilizando serviços entre si introduz uma série de desafios, que vão desde a busca e seleção desses serviços até o estabelecimento das relações adequadas, com base em critérios definidos sob uma perspectiva social (KHELLOUFI et al., 2021).

Para além das restrições apresentadas, os objetos da IoT geralmente possuem recursos computacionais limitados e são projetados com habilidades específicas, pro-

porcionando benefícios igualmente restritos às pessoas. Contudo, essas limitações podem ser superadas atribuindo ao objeto uma característica social, por meio do relacionamento e cooperação com os seus pares, sendo este o foco desta pesquisa.

A ideia de objetos sociais expande o conceito da Internet das Coisas, permitindo que entidades como os humanos, dispositivos eletrônicos e objetos físicos assumam características sociais quando imersos em um ambiente tecnológico. Isso significa que essas entidades são capazes de estabelecer relações sociais umas com as outras, seguindo regras pré-programadas e preferências definidas por seus proprietários. O objetivo dessas interações é o compartilhamento de recursos e informações (MUHAMMAD et al., 2023).

A possibilidade de criar relações sociais entre “coisas” – entendendo-se por coisas quaisquer objeto, dispositivo ou entidade interconectada em uma rede – pode trazer benefícios para inúmeras aplicações. Apesar disso, os atuais sistemas de recomendação baseados em objetos de uso pessoal apresentam algumas limitações. Em particular, eles podem ter dificuldades na identificação de fontes alternativas que atendam às solicitações de serviços (BOUAZZA; SAID; ZOHRA LAALLAM, 2022).

O estabelecimento de relações sociais entre objetos ocorre por meio de interações em ambientes inteligentes. Esses ambientes são constituídos por comunidades de objetos e dispositivos diversos, o que requer o desenvolvimento de novos modelos, teorias e abordagens que possam promover efetivamente a interação e a colaboração nesses espaços sociais (DHIMAN; NAGAR; KADRY, 2022).

No entanto, a implantação em larga escala de objetos socialmente conectados e interagindo enfrenta desafios significativos relacionados à identificação dos objetos mais relevantes considerando os serviços desejados e a determinação do caminho mais oportuno para alcançá-los. A escalabilidade surge como um obstáculo importante para uma efetiva implementação da Social IoT (ROOPA et al., 2021)

Nesse contexto, os objetos têm a responsabilidade de gerenciar um grande número de conexões e registrar as habilidades de cada parceiro, o que torna o mapeamento do ambiente, em tempo de execução, computacionalmente custoso. A superação desses desafios torna-se essencial para a implementação em larga escala da Social IoT. Portanto, soluções inovadoras são necessárias para otimizar o processo interativo que ocorre entre os objetos presentes em ambientes inteligentes.

## **1.1 Problema e Objetivos da Pesquisa**

O problema de pesquisa central consiste em: Como realizar a gestão dos relacionamentos estabelecidos entre objetos, habilitando-os para a cooperação e o compartilhamento de habilidades em um ambiente da Social IoT?

O objetivo geral desta tese, considerando o problema de pesquisa elencado, concentra-se na gestão dos relacionamentos por meio da concepção de um modelo que permita a interação entre os objetos inteligentes da Social IoT. Por consequência, também integram os esforços de estudo e pesquisa os seguintes objetivos específicos:

- caracterização dos componentes e das funcionalidades que deem suporte aos requisitos operacionais da abordagem *Virtual Interactions between Social Objects* (VISO);
- modelagem e implementação de uma estrutura voltada à composição de comunidades em um ambiente da Internet das Coisas Social;
- simplificação do processo de interação entre os objetos inteligentes;
- concepção de uma ferramenta declarativa para a inserção das características operacionais e das restrições de cada dispositivo IoT;
- proposição de um mecanismo de classificação das amizades que indique dispositivos mais adequados ao processo de interação em determinado momento, e;
- sistematização dos desafios na SloT referentes a socialização de objetos e as contribuições da abordagem VISO, na perspectiva do seu atendimento.

## 1.2 Contribuições Esperadas

As principais contribuições deste trabalho estão resumidas a seguir:

- inserção de métricas de socialização ao algoritmo de classificação dos relacionamentos;
- ranqueamento do objeto provedor na perspectiva do solicitante de um serviço ou informação;
- monitoramento ativo dos relacionamentos estabelecidos entre os objetos;
- agrupamento de objetos em círculos sociais com base nas regras de negócio de cada ambiente, e;
- compatibilização da abordagem VISO com os *middlewares* existentes no mercado, especialmente o *Execution Environment for Highly Distributed Applications* (EXEHDA), que é uma importante frente de pesquisa deste grupo.

## 1.3 Organização do Documento

Além deste capítulo introdutório, o restante do documento está estruturado da seguinte forma:

- **Capítulo 2: Embasamento Teórico**

Este capítulo resgata os principais conceitos envolvendo a Social IoT, os relacionamentos entre objetos e a gestão das interações.

- **Capítulo 3: Estado da Arte**

O capítulo detalha o processo de revisão da literatura, apontando o estado da arte nesta área de estudo e as contribuições dos trabalhos correlatos. Além disso, é feita uma síntese das características observadas em comparação a VISO.

- **Capítulo 4: Abordagem VISO**

Este capítulo descreve o modelo proposto, assim como os métodos definidos para a formação das comunidades e a classificação das amizades estabelecidas entre os objetos inteligentes.

- **Capítulo 5: Avaliação**

Neste capítulo destacam-se os experimentos de avaliação aplicados ao modelo proposto. Nele são detalhados o cenário de testes, o conjunto de dados utilizado, as validações e uma síntese dos principais resultados obtidos.

- **Capítulo 6: Considerações Finais**

O capítulo evidencia as contribuições relevantes desta pesquisa, os resultados parciais obtidos e algumas sugestões de trabalhos futuros. De maneira complementar, também apresenta detalhes de algumas publicações realizadas em diferentes comunidades científicas da área.

## **2 EMBASAMENTO TEÓRICO**

No decorrer deste capítulo são apresentados os conceitos fundamentais para o entendimento adequado das abordagens balizadoras da pesquisa realizada. Para isso, caracteriza a Social IoT, os principais tipos de relacionamentos estabelecidos entre objetos, assim como alguns desafios impostos à gestão dessas relações, além de trazer um método voltado à análise das interações.

### **2.1 Internet das Coisas Social**

A IoT é um paradigma, no qual diferentes objetos interagem e estabelecem relacionamentos entre si para atingir um objetivo comum. Em essência, a Social IoT explora variantes de uma arquitetura orientada a serviços, na qual os dispositivos heterogêneos oferecem ou solicitam a execução de tarefas, estabelecendo a conexão e a comunicação com outros objetos consoante as necessidades do momento (AFZAL et al., 2019).

A IoT é caracterizada pela presença de objetos inteligentes que observam e atuam no ambiente ao qual estão inseridos (ver Figura 1). Por sua vez, a Social IoT avança ao ponto em que as coisas ganham mais inteligência e liberdade para interagirem umas com as outras, sem a necessidade de intervenção humana (RAJENDRAN; JEBAKUMAR, 2021). Dessa forma, também há um aprimoramento da interoperabilidade na rede, bem como da composição de novos serviços, tudo isso promovido pela interação social que ocorre entre os dispositivos, os quais estabelecem colaborações em nome de seus proprietários com base em seus hábitos e interesses (KHELLOUFI et al., 2021).

A convergência da computação e da comunicação, centradas na socialização entre coisas, permite que os dispositivos IoT aproveitem esse contexto social para a otimização dos serviços oferecidos no ambiente e a personalização de suas respostas às requisições atendidas (DHELM et al., 2021). Contudo, para ocorrer esse aprimoramento na oferta de serviços, algumas premissas merecem atenção, dentre elas, a confiança entre os objetos, bem como a exatidão e a precisão das informações obti-

das (KHELLOUFI et al., 2021).

Para promover a socialização entre coisas o ambiente das aplicações IoT também precisa de adaptações. O ambiente IoT tradicional (ver Figura1) conecta dispositivos físicos em uma única aplicação IoT. Esse ambiente é constituído por uma variedade desses dispositivos, os quais são destacados em dois perfis operacionais distintos, de objetos e de *middleware* ou *gateway*.

Os objetos da IoT têm embarcado sensores, atuadores ou a combinação de ambos. Os sensores, também chamados de preceptores, reúnem todas as informações na forma de parâmetros ambientais e fornecem os dados ao *gateway*. O *gateway* também é responsável por passar instruções aos atuadores, que por sua vez agem no ambiente. O *gateway* pode gerenciar uma gama de sensores e atuadores, fornecendo serviços e informações por meio de *Application Interface Programmings* (APIs) ou diretamente para as aplicações IoT, a qual é capaz de oferecer uma visão completa desse ambiente, visando atender as necessidades de um usuário (BANSAL; KUMAR, 2020).

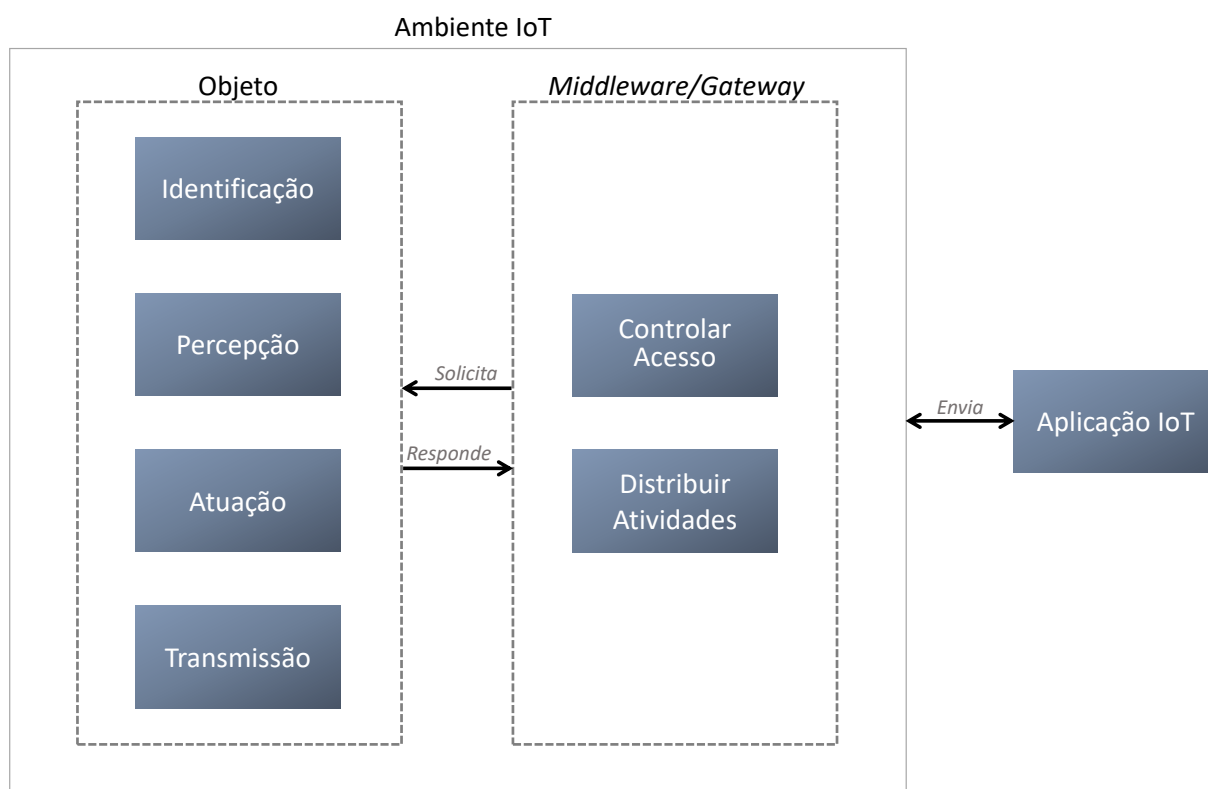


Figura 1 – Fluxo básico de interações em um ambiente IoT tradicional

Na estrutura do ambiente IoT tradicional, sintetizada na Figura 1, um objeto apenas recebe solicitações originadas pelo *middleware* para atender a uma determinada aplicação. Enquanto que na Social IoT (ver Figura 2), por exemplo, uma solicitação por serviço ou informação pode partir de outro objeto para satisfazer diferentes finalidades, aplicações e interesses dos usuários desse ambiente.

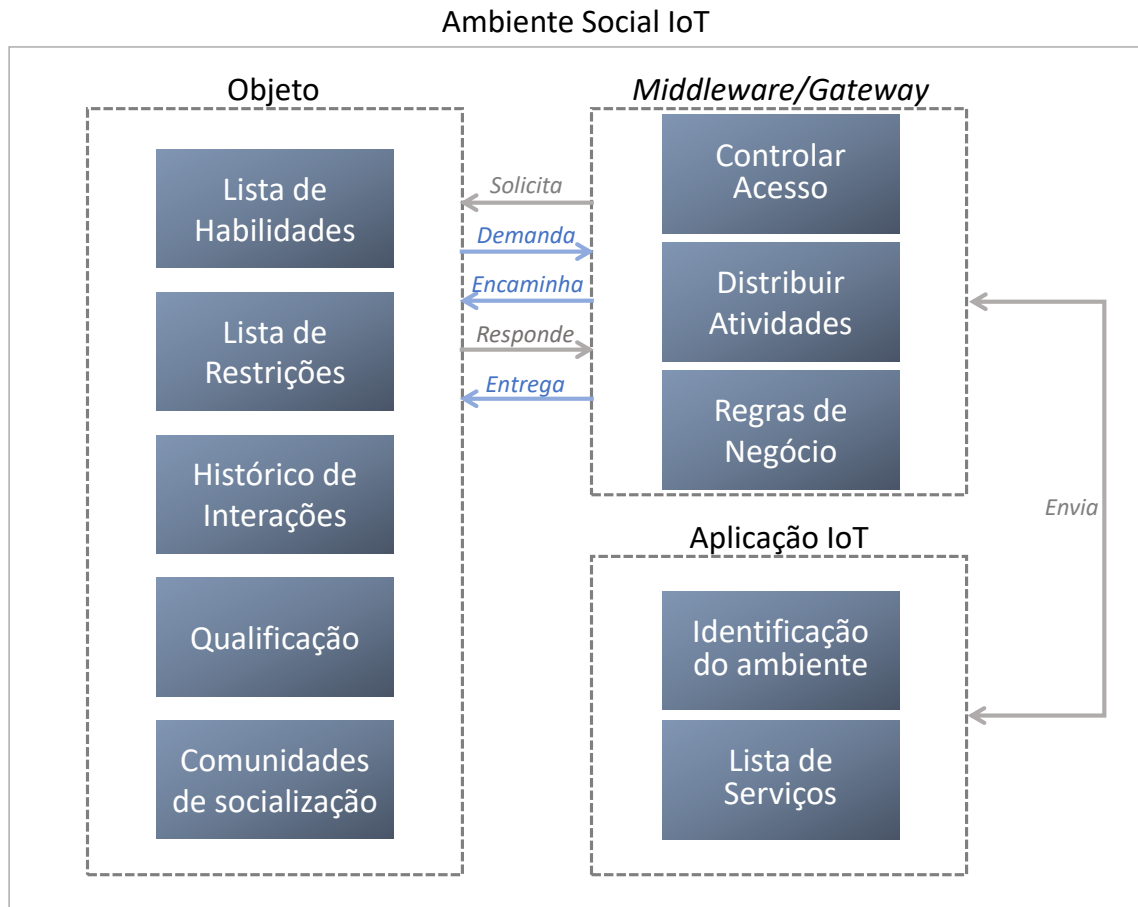


Figura 2 – Fluxo de mensagens na Social IoT

Para além deste novo fluxo de mensagens entre *middleware* e objeto, também há necessidade de um maior detalhamento das características funcionais do objeto inteligente. Para tal, considera-se, entre outros, a lista de habilidades, ou seja, de serviços ou informações que ele é capaz de compartilhar no ambiente, o histórico de interações, a qualificação no ambiente e as comunidades que ele participa. A aplicação IoT integra este ambiente que passa a responder para diversas aplicações, cada qual requerendo diferentes serviços.

Logo, o ambiente IoT tradicional apresenta limitações para realizar a gestão dos relacionamentos e a cooperação entre os objetos com vistas a suprir as novas demandas. A importância da estruturação desse ambiente para promover a socialização dos objetos inteligentes é descrita a seguir.

## 2.2 Socialização entre Objetos

A relevância de aproveitar a capacidade de socialização dos objetos da IoT é evidenciada pelo crescimento da própria Internet das Coisas. Tamaña importância é reforçada na declaração emitida pelo Conselho Nacional de Inteligência dos EUA, que aponta a IoT como uma das seis tecnologias que potencialmente mais afetarão os

interesses do país até 2025, com um estimado de 75 bilhões de dispositivos interconectados (OUAFIQ; SAADANE; CHEHRI, 2022).

A socialização entre objetos habilita-os ao trabalho coletivo no intuito de resolverem problemas do mundo real que de outra forma não poderiam resolver individualmente. Isto permite a criação de sistemas mais sofisticados, inteligentes e adaptáveis às mudanças das condições ambientais, além disso, também permite a criação de sistemas mais personalizados e cientes do contexto (PLIATSIOS; LYMPERIS; GOUMOPOULOS, 2023).

No campo da socialização, a discussão é ampliada de objetos puramente inteligentes para objetos atuantes. Se os objetos inteligentes estabelecem a comunicação com os humanos, os objetos atuantes, por sua vez, têm a capacidade de representar os interesses de seus proprietários, agindo em nome deles (ZIA et al., 2020). Assim, o desafio está em proporcionar uma estrutura, na qual os objetos dotados de algumas características de socialização, possam efetivamente estabelecerem as próprias relações.

Os objetos sociais estão sujeitos a algumas condicionantes que precedem a sua atuação autônoma (ATZORI; IERA; MORABITO, 2015), tais como: (i) a tomada de decisão utilizando o conhecimento compartilhado pelos objetos de sua comunidade; (ii) a declaração dos serviços ofertados, assim como a manifestação da presença no ambiente, e; (iii) a confiança nos pares e a capacidade de interação. Assim, a complexidade inerente à inserção do contexto social em ambientes inteligentes requer a gestão das interações. A Seção 2.3 categoriza o comportamento coletivo dos objetos na perspectiva das relações sociais estabelecidas entre eles.

## **2.3 Tipos de Relações Sociais na Social IoT**

As recentes pesquisas, considerando o cenário da Social IoT, ainda carecem de modelagens e análises aprofundadas na estrutura de socialização oferecida como suporte às relações constituídas entre objetos. Contudo, já existem avanços importantes em outras frentes de pesquisa nessa área, principalmente aquelas centradas nas redes sociais humanas.

As pesquisas orientadas aos relacionamentos estabelecidos na Social IoT podem ser classificadas em três eixos, dos quais dois são voltados às pessoas e um terceiro é focado nas coisas (ALHAZMI et al., 2020). Conforme detalhado a seguir:

- relacionamentos de dispositivos inteligentes e o usuário: o enfoque principal é a geração de recomendações de novas coisas para o acesso do usuário. Essa recomendação é baseada nos relacionamentos existentes entre os usuários e suas coisas, a fim de inferir outros relacionamentos com objetos;

- relacionamento de usuários, objetos e serviços: explora algoritmos que realizam a recomendação de serviços de terceiros. No entanto, esses trabalhos são baseados principalmente nos relacionamentos existentes dos usuários e nas coisas que eles possuem;
- relacionamento das coisas: essa iniciativa de pesquisa enfatiza as relações estabelecidas entre os objetos inteligentes, introduzindo algoritmos de análise de rede adequados, sem correlacioná-los às redes sociais humanas. Visa à modelagem das relações no ambiente da Social IoT permitindo o estudo e a previsão de relacionamentos, ou seja, analisa as potenciais ligações entre objetos IoT, sendo este, o foco principal da abordagem VISO.

No panorama apresentado, a previsão de interações torna-se um dos problemas mais essenciais que merece atenção na análise dessas redes sociais, em particular na previsão da estrutura demandada em um momento futuro. Visto que, na Internet das Coisas Social, um dos fatores que determina o efeito e a eficiência das interações está no equilíbrio da infraestrutura provida visando um ambiente amigável e estável, além de uma base sólida para a correspondência de serviços (ZHANG et al., 2021).

Na perspectiva dos relacionamentos firmados entre os objetos, o qual é o tema central desta pesquisa, o delineamento das possíveis interações sociais está destacado na Figura 3 em consonância com as pesquisas nesta área (ALDELAIMI; HOS-SAIN; ALHAMID, 2020), (KHELLOUFI et al., 2021), (SAXENA; KUMBHAR; ROY, 2020), (BOUAZZA; SAID; ZOHRA LAALLAM, 2022). Esses trabalhos consideram, principalmente, a maneira como os objetos socializam e constituem as comunidades entre si.

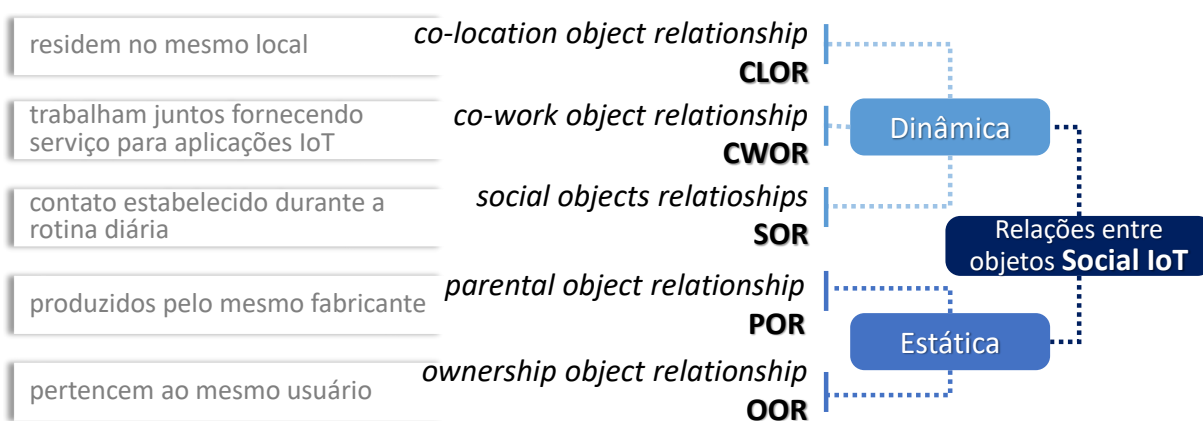


Figura 3 – Relações estabelecidas entre os objetos da *Social Internet of Things*.

À medida que os objetos entram em contato uns com os outros, os tipos de relacionamentos listados são configurados e modificados com base nos dados que eles compartilham no ambiente, como o modelo, o tipo ou categoria, a capacidade computacional, a duração da bateria e a mobilidade. Além disso, esses relacionamentos são

explorados por um módulo de busca e descoberta de serviços para identificar os objetos que atendam às requisições de seus pares (BOUAZZA; SAID; ZOHRA LAALLAM, 2022). De forma semelhante aos humanos, tais relacionamentos são estabelecidos, mantidos e encerrados, com base no histórico das interações.

Nesse viés, a classificação das relações ocorre com base em diferentes critérios. De forma geral, esses critérios visam facilitar o agrupamento e, conseqüentemente, o compartilhamento do conteúdo de interesse dos objetos, potencializando a difusão de informações e a composição de serviços em diferentes níveis de confiança e interatividade no ambiente da Social IoT.

Para uma melhor compreensão da classificação dos relacionamentos entre os objetos, a Figura 3 aponta para dois agrupamentos. Um sugere que as características específicas de cada objeto não sofrem mudanças com o passar do tempo, sendo assim, as relações estabelecidas entre seus pares são do tipo estática, como o fabricante ou o proprietário do objeto. Já o outro argumento compreende características de agrupamento que podem constantemente sofrer alterações durante as interações, e, por isso, os dispositivos estabelecem relações do tipo dinâmica.

Mesmo as relações estabelecidas através do compartilhamento de um local em comum, como uma residência, os vínculos podem ocorrer de forma dinâmica. Isso ocorre normalmente devido à elevada mobilidade do dispositivo no ambiente, o que leva ao estabelecimento de novas conexões, tanto de rede quanto na composição das amizades.

As relações sociais seguem regras de interação indicadas em cada objeto, ditando as informações compartilhadas, o tipo de relação estabelecida e o número de amizades permitidas (SAXENA; KUMBHAR; ROY, 2020). Portanto, as regras de interação ajudam na gestão dos relacionamentos de um objeto e reduzem a intervenção do proprietário na composição de comunidades com interesses comuns. Nesse sentido, conforme detalhado na Seção 2.4, há a possibilidade de que a classificação das amizades ocorra mais próxima da borda, ou seja, pelos próprios dispositivos da IoT.

## **2.4 Gestão de Relacionamentos em Social IoT**

Para que as relações entre objetos ocorram em um ambiente socialmente estável, vários parâmetros devem ser observados, desde o registro das transações até a opinião emitida pelos pares ou vizinhos sobre as experiências nas interações com cada dispositivo (SAXENA; KUMBHAR; ROY, 2020). Esses aspectos têm consequências para a estabilidade no volume de dados trafegado na rede, a oferta de serviços otimizados e a confiança estabelecida entre os dispositivos ativos no ambiente.

Uma maneira dinâmica de implementar a confiança nas relações estabelecidas entre os dispositivos que interagem no ambiente inteligente, os quais apresentam um

comportamento automatizado – sem a necessidade de interferência direta do usuário final – é formalizada na Equação 1 (KOWSHALYA; VALARMATHI, 2017). A equação da Confiança Direta – *Direct Trust* (D) – entre os objetos que se relacionam esta descrita a seguir:

$$D_{ij} = \sum_{l=1}^n \frac{TF_{ij}^l F_{ij}^l}{TF_{ij}^l} \quad (1)$$

Nesta equação, a credibilidade do objeto é controlada pelos dispositivos de borda. Assim sendo, a confiança direta (D) estabelecida entre os objetos –  $i; j$  – é determinada pelo fator transacional - *Transactional Factor* (TF), associado ao *Feedback* (F), que expressa a qualidade do serviço prestado por  $i$ , segundo a avaliação do objeto  $j$ . Para isso, os valores possíveis desses indicadores avaliados após cada interação são os seguintes:

Na qualificação da transação  $TF_{ij}^l$ :

0 - transação irrelevante;

1 - transação relevante.

Para avaliação do *feedback*  $F_{ij}^l$ :

0 - serviço inadequado;

1 - serviço satisfatório.

Conforme observado na Equação 1, a credibilidade de um objeto frente às relações estabelecidas só é alcançada quando há um equilíbrio entre o volume de transações relevantes e as avaliações positivas dos serviços prestados por ele. Nessas circunstâncias, a Tabela 1 destaca algumas simulações variando o volume de interações e o *feedback* de um objeto, na perspectiva das avaliações fornecidas pelos requerentes de um serviço ou informação.

No contexto simulado (ver Tabela 1), um dispositivo que realiza muitas operações, mas obtém poucos serviços pontuados como satisfatórios, tem sua confiança reduzida em futuras operações na comunidade. Por outro lado, mesmo que o objeto realize poucas transações, mas obtenha o *feedback* positivo na maioria delas, oferece maior credibilidade às relações sociais.

Em síntese, existem vários critérios considerados na composição das comunidades de objetos, e essas condições visam gerar modelos mais robustos baseados em aspectos de segurança e privacidade. A Seção 2.5 destaca a análise de *links* como uma técnica reconhecida para a qualificação das relações estabelecidas entre entidades de diferentes domínios.

Tabela 1 – Simulação da Confiança do Objeto correlacionando a importância da interação com a avaliação do serviço prestado

Identificador Objeto	Variáveis de Confiança		
	Fator Transacional ( $TF$ )	Feedback ( $F$ )	Confiança ( $D$ )
A	15	3	0,20
B	8	4	0,50
C	5	3	0,60
D	4	3	0,75

## 2.5 Técnicas de *Link Analysis*

A Análise de Ligações ou *Link Analysis* (LA), é reconhecida como uma técnica eficaz na ciência de dados para explorar as relações entre objetos, que podem ser eventos sociais, pessoas, organizações e até mesmo transações comerciais (SHI, 2022). A LA lida com a extração de informações valiosas de estruturas interligadas que formam um grafo, o qual é composto por um conjunto de pontos chamados vértices, conectados por linhas conhecidas como arestas. Assim, qualquer rede de ligações pode ser representada como um grafo  $G = (V, E)$ , onde  $V$  denota o conjunto de vértices ou nós, e  $E$  designa o conjunto de arestas ou ligações.

As técnicas de análise de ligações não apenas identificam as conexões entre indivíduos, mas também fornecem informações sobre como outras variáveis ou atributos podem ser usados para caracterizar o tipo de ligação, bem como sua força ou relevância. Em particular, a Análise de Ligações é fundamental para o mapeamento e percepção das esferas de influência, trazendo à luz os seguintes aspectos (LOSHIN; REIFER, 2013):

- grupos de objetos intimamente conectados;
- coleções de indivíduos vinculados por determinados atributos;
- velocidade com que a comunicação flui por meio de uma rede social;
- identificação de novos padrões de interesse, e;
- objetos que exercem influência significativa sobre outro grupo de indivíduos.

Entre os algoritmos de análise de ligações, o PageRank (PR) é provavelmente o mais conhecido para determinar a importância relativa dos vértices em um grafo. Este

algoritmo define, de maneira recursiva, a relevância de um nó com base na importância das ligações que ele recebe (JIMENEZ et al., 2022). A Figura 4 simula o mecanismo de classificação de páginas baseado no PR. Vale ressaltar que o algoritmo PR foi originalmente aplicado pelo Google<sup>1</sup> para medir a importância de uma página web.

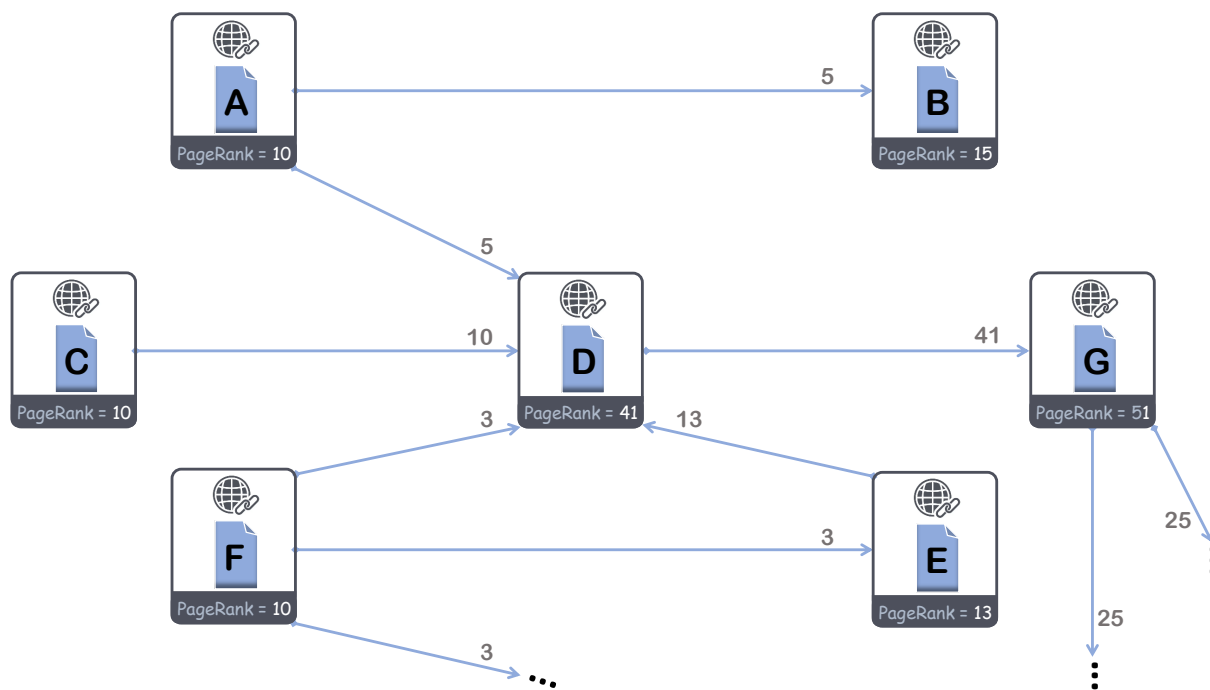


Figura 4 – Mecanismo de classificação de páginas WEB baseado no PageRank

O algoritmo do Google determina a pontuação de uma página de forma recursiva, levando em consideração a soma ponderada do PR daquelas páginas que contêm *links* para ela. Assim, quanto maior o PR, melhor é a sua classificação (BRIN; PAGE, 1998). Essa classificação é realizada levando em conta as páginas que correspondem às palavras-chave da pesquisa e ajustando os resultados com base nas respectivas pontuações.

Vale ressaltar que, ao longo dos anos, o Google incorporou outros indicadores para classificar as páginas nos resultados de pesquisa, como a qualidade do texto, o volume de conteúdo e a frequência de atualizações. No entanto, esses aspectos não são aplicáveis ao cenário de classificação das interações entre objetos e, portanto, não fazem parte deste estudo.

Na Figura 4 a página web *D* recebe o maior número de indicações, acumulando um valor mais alto de PageRank. Devido ao número reduzido de *links* externos, apenas para a página *G*, essa indicação também tem maior relevância. Páginas com um maior número de *links* externos tendem a transmitir pouco peso nas relações.

No contexto das relações autonômicas estabelecidas entre os objetos da Social IoT, a relevância de um objeto, conforme a avaliação dos pares, pode contribuir

<sup>1</sup>Mecanismo de pesquisa na Web. Disponível em: [www.google.com](http://www.google.com). Acesso em: out/2023.

para indicar possíveis futuras conexões. De forma complementar, a identificação dos papéis desempenhados pelos objetos mais ativos pode simplificar o processo de recomendação, conforme sugerido pela metodologia ONA e descrito na próxima seção.

## 2.6 Metodologia *Organizational Network Analysis*

A metodologia *Organizational Network Analysis* (ONA), que no português significa análise de rede organizacional, ela oferece um mapeamento das relações de trabalho colaborativo entre as pessoas de uma mesma entidade organizacional. Para isso, fornece uma lente baseada em evidências que auxilia os gestores no entendimento das conexões estabelecidas entre os funcionários, motivando as interações pessoais e melhorando o trabalho híbrido – virtual e presencial – além da eficácia na comunicação interna (CROSS; GRAY, 2021).

A teoria das redes sociais por trás da metodologia ONA, no cenário corporativo, fortalece as relações entre os colaboradores, melhora a eficiência das equipes de projeto, facilita o entendimento do fluxo de informações dentro da empresa e, por fim, atende às demandas modernas na gestão do capital humano (ANDRZEJAK; WAWRZYNEK et al., 2021). Nesse sentido, há um potencial de aplicação no universo dos objetos que socializam com vistas à formação das comunidades de interesse, uma vez que os desafios e objetivos são similares em ambos os cenários.

Na Figura 5 é destacado o mapeamento dos principais elementos presentes nas interações entre pessoas em uma organização. Nesse sentido, a composição das comunidades na ONA ocorre, fundamentalmente, por meio de três tipos de nodos (MCDOWELL; HORN; WITKOWSKI, 2016). A Figura 5 também descreve brevemente as principais características desses três tipos de nodos.

No contexto da metodologia, cada nodo é uma unidade – uma pessoa, uma corporação e, no contexto deste trabalho, um objeto – e seu papel é caracterizado da seguinte maneira:

- Nó central: atribuído as entidades que conhecem seus colegas de trabalho, compartilham muitas informações e influenciam os grupos. Essa função não está necessariamente vinculada a uma posição específica na hierarquia formal, mas essas entidades estão altamente engajadas na empresa.
- Nó disseminador de conhecimento: constituído por indivíduos que estabelecem conexões com diferentes grupos, ajudando na disseminação das informações de forma capilarizada.
- Nó periférico: são colaboradores negligenciados e sem conexão com o restante da instituição. Em muitos casos, eles deixam de contribuir e perturbam a fluidez na comunicação.

## Análise de Rede Organizacional

(ONA - Organizational Network Analysis)

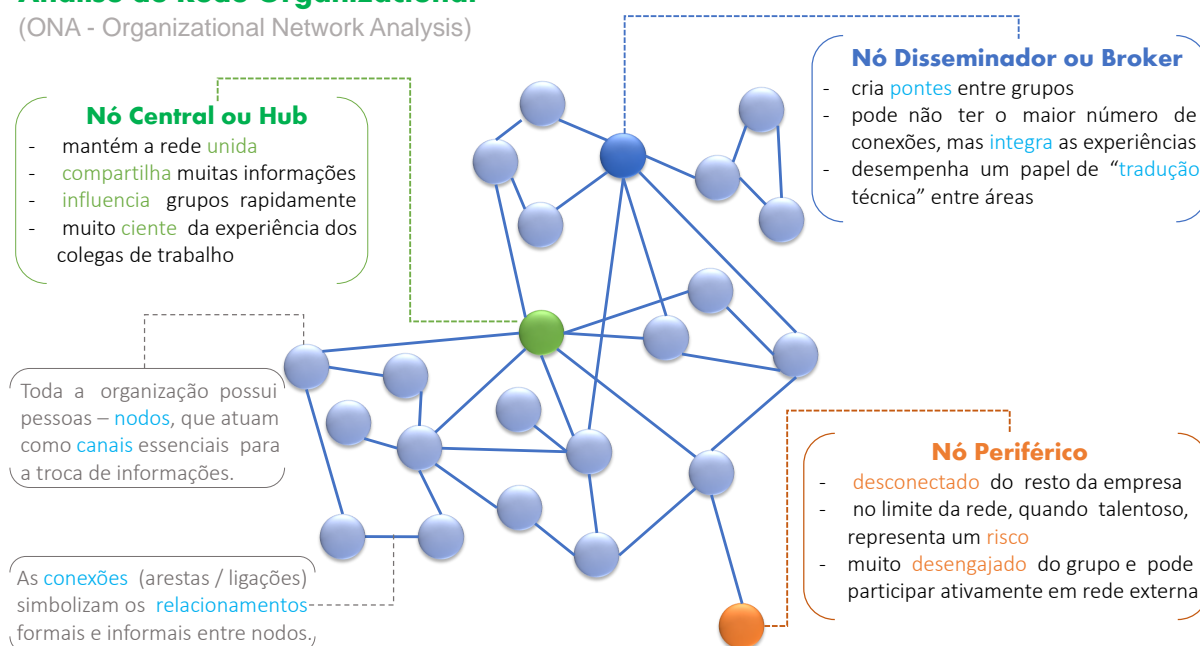


Figura 5 – Elementos centrais da *Organizational Network Analysis* (ONA)

Fonte: Adaptado de (MCDOWELL; HORN; WITKOWSKI, 2016)

Nesse esquema organizacional, o nó central é composto por elementos-chave, e cada um deve ser identificado e gerenciado adequadamente. O nó central, por exemplo, auxilia o restante da força de trabalho a adotar mudanças rapidamente. Por outro lado, um nó periférico é um elemento, cuja sua saída representa risco, pois quando talentoso, pode deixar a empresa a qualquer momento, carregando informações estratégicas e, normalmente, a sua substituição é mais complexa, uma vez que ele tem um perfil menos propenso ao compartilhamento de conhecimento.

Dentro do contexto apresentado, a estrutura social promovida pela ONA tem potencial para contribuir com a organização de ambientes inteligentes, especialmente para ampliar o mapeamento e a compreensão das relações sociais por meio da atribuição dos papéis desempenhados pelos objetos mais ativos em um ambiente. Além das lacunas de pesquisa mencionadas anteriormente, para uma compreensão mais ampla da gestão de relacionamentos em ambientes da SIoT, o Capítulo 3 detalha o protocolo de pesquisa adotado neste estudo. Este protocolo guia a seleção e a qualificação dos trabalhos focados na gestão dos relacionamentos, conforme exposto a seguir.

### 3 ESTADO DA ARTE NA GESTÃO DE RELACIONAMENTOS

O ponto de partida para identificação do estado da arte foi a busca na literatura por pesquisas com ênfase nas particularidades da gestão de relacionamentos entre os objetos da Social IoT. Para isso, considera-se adequada a realização de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) objetivando uma visão das mais recentes produções científicas na área.

A revisão sistemática visa minimizar erros metodológicos e a aleatoriedade na seleção dos artigos, pois emprega procedimentos claramente definidos, que orientam a avaliação do estado da arte relacionado ao tópico de interesse (DERMEVAL; COELHO; BITTENCOURT, 2020). Com base nesses preceitos, a Figura 6 conduz ao protocolo deliberado para o presente estudo, focado na gestão dos relacionamentos estabelecidos em ambientes inteligentes.

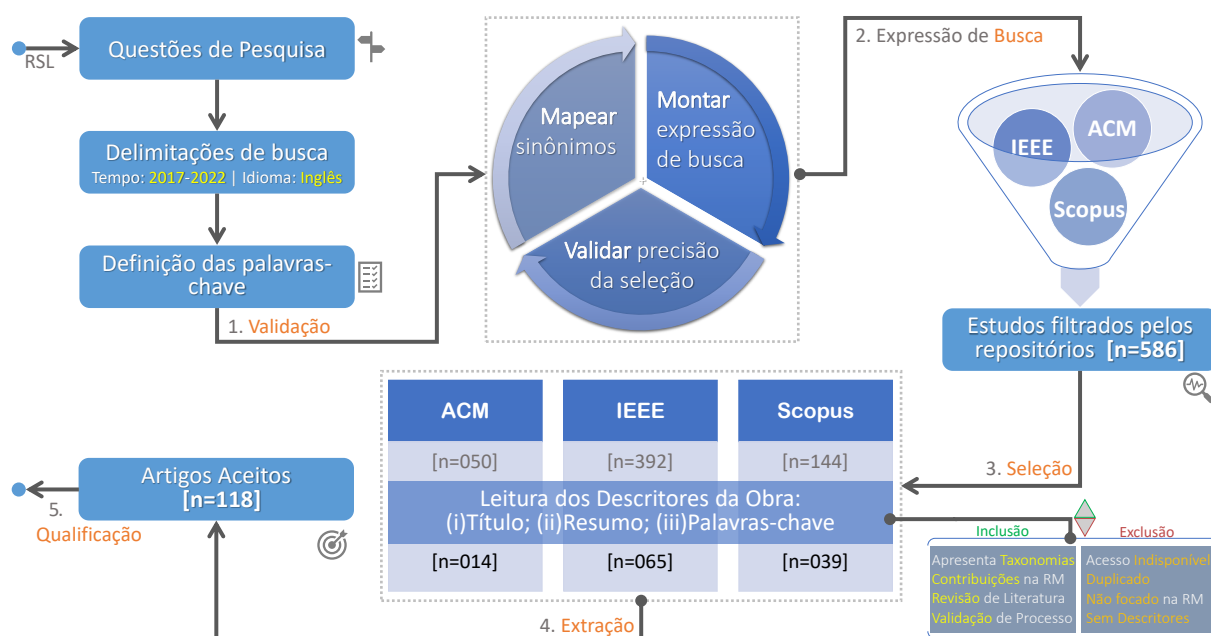


Figura 6 – Esboço do protocolo de pesquisa para a RSL

O fluxo inicial da RSL é distribuído em 5 etapas, a saber: (i) validação, nesta etapa, o protocolo da pesquisa é avaliado com base no intervalo de tempo e nas

palavras-chave utilizadas para responder à questão de pesquisa; (ii) busca, nesta etapa, a expressão de investigação é aplicada nos diferentes repositórios científicos para identificar os artigos relevantes; (iii) seleção, nesta etapa, é realizado o recorte dos artigos identificados pelos motores de busca dos repositórios, considerando os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos; (iv) extração, nesta etapa, é realizada uma leitura do título, resumo e palavras-chave dos artigos selecionados, aplicando os critérios de inclusão e exclusão definidos; (v) qualificação, nesta etapa, é realizada uma leitura mais detalhada de cada obra para filtrar aquelas que melhor atendem ao objeto de estudo. O detalhamento desta RSL é tratado na Seção 3.1, que também apresenta as contribuições dos estudos.

### 3.1 Revisão Sistemática de Literatura

Os procedimentos em Revisão Sistemática de Literatura (RSL), apesar de pequenas diferenças, sugerem oito etapas comuns para seu desenvolvimento (XIAO; WATSON, 2019): 1. formulação do problema de pesquisa; 2. desenvolvimento e validação do protocolo de revisão; 3. pesquisa na literatura; 4. triagem para inclusão; 5. avaliação da qualidade; 6. extração de dados; 7. análise e síntese dos dados, e; 8. divulgação dos achados.

O protocolo delineado na Figura 6 agrupa as etapas de formulação do problema e validação, enquanto as demais etapas seguem o modelo sugerido até a fase de qualificação. Assim, a RSL é dividida em dois momentos: um inicial, focado nas quatro etapas preliminares que organizam o protocolo de pesquisa, de caráter estrutural e quantitativo; um segundo momento, baseado nas quatro fases restantes, com um viés qualitativo, voltado à tabulação dos resultados e às contribuições observadas na literatura.

A busca de artigos foi centrada em repositórios *on-line* explorando as bibliotecas digitais da *Association for Computing Machinery* (ACM) - ACM Digital Library, do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) - IEEE Xplore e da Elsevier's Scopus. A inclusão de outros motores de busca incrementou significativamente o número de artigos duplicados, ou ainda, afastados do escopo desta pesquisa, abrangendo outros domínios do conhecimento, principalmente, a gestão de relacionamentos humanos. Além disso, essas bases de dados selecionadas, elas representam o estado atual do conhecimento, pois contêm publicações de periódicos renomados e os anais das principais conferências na área da IoT.

Um critério de validação da pesquisa diz respeito ao período de observação. Para isso, a seleção considerou estudos publicados entre os anos de 2017 a 2022. O ano de 2023 ficou fora da janela de busca, por questões de equidade, visto que minimamente as publicações do segundo semestre não estariam totalmente contempladas por esta

pesquisa, a qual foi encerrada no mês de novembro do corrente ano.

Quanto ao idioma de publicação, priorizaram-se as obras escritas em inglês. Com a definição desses elementos iniciais, foi elaborado o protocolo de pesquisa. Para auxiliar na organização do material coletado e atender aos elementos do protocolo de pesquisa, utilizou-se o software StArt<sup>1</sup> - *State of the Art through Systematic Review* (StArt) (DERMEVAL; COELHO; BITTENCOURT, 2020).

Uma das primeiras atividades necessárias na criação do protocolo adotado na RSL consiste na definição das questões de pesquisa em alinhamento aos objetivos deste trabalho. Nessa perspectiva, com o intuito de realizar uma análise das abordagens utilizadas por outras produções científicas focadas na gestão de relacionamentos – *Relationship Management* (RM) – foram elaboradas as seguintes Questão Específica de Pesquisa (QE):

- QE1 – Qual o aspecto na RM é destacado pela pesquisa?
- QE2 – Quais parâmetros da RM são evidenciados na proposta?
- QE3 – O estudo oferece uma proposta voltada à RM?

Quanto à expressão de busca aplicada para a pesquisa nos repositórios das bibliotecas digitais, após alguns testes e validações, a expressão se constituiu da seguinte maneira:

{("relation management")  
 OR ("object" AND "interaction")  
 AND ("social internet of things"  
 OR "SIoT" OR "social IoT").

Nesta expressão de busca, o operador de disjunção - *OR* – captura palavras alternativas ou abreviações, enquanto o operador de conjunção - *AND* – vincula os termos principais. A delimitação com parênteses agrupa alguns parâmetros. Como resultado da aplicação desta expressão nos mecanismos de busca dos três repositórios mencionados, obteve-se um total de 586 artigos. A Figura 7 caracteriza a distribuição percentual dos artigos obtidos nos respectivos motores de busca utilizados neste estudo.

A Figura 7 também destaca a assertividade dos motores de busca. Por um lado a IEEE representa 66% dos artigos selecionados e 40% dos artigos qualificados. Por outro lado, a Scopus representa apenas 25% da seleção inicial e os mesmos 40% dos

<sup>1</sup>Disponível em: <https://www.lapes.ufscar.br/resources/tools-1/start-1>. Acesso em: out/2023.

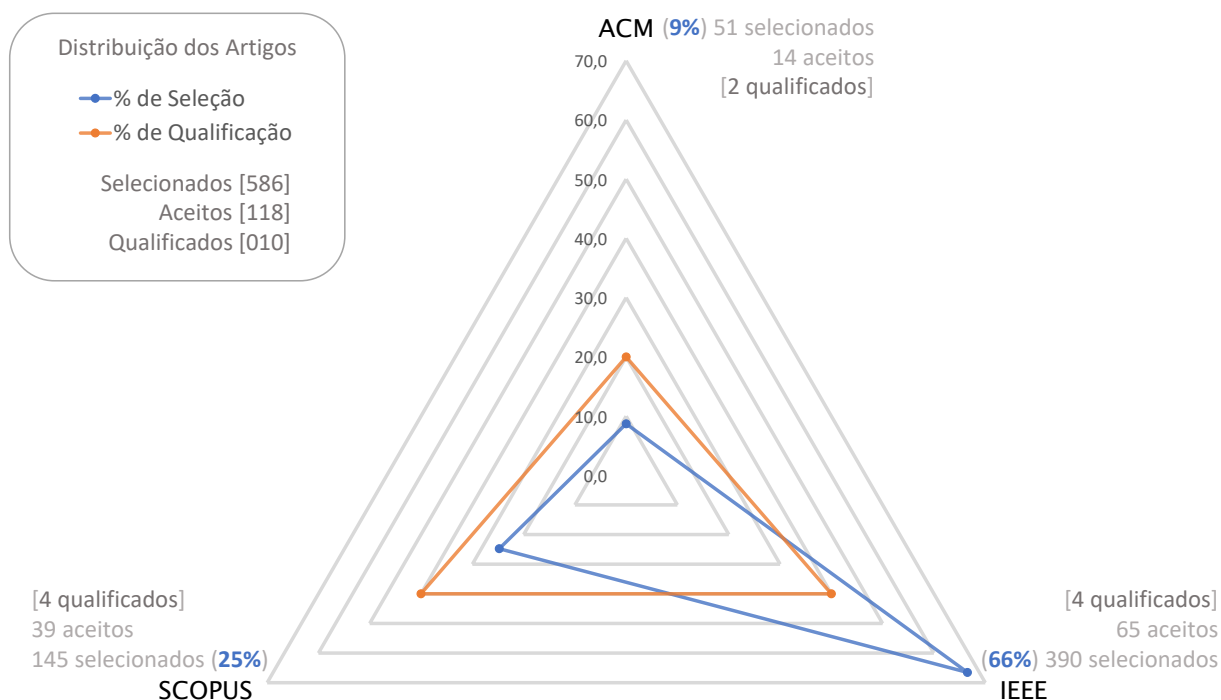


Figura 7 – Resultados obtidos na fase de triagem dos artigos da RSL

qualificados. A ACM, por sua vez, representa 9% dos selecionados e 20% daqueles qualificados. Neste caso, o motor de busca da ACM exigiu um menor esforço de leitura para localizar os artigos que se alinham aos interesses desta pesquisa.

Considerando os 586 artigos obtidos nos motores de busca, com a última atualização em 26 de janeiro de 2023, a Figura 8 detalha o resultado das etapas de triagem. Na primeira etapa de triagem obteve-se um total de 118 trabalhos aceitos, pois estão relacionados à temática da Social IoT. Essa etapa envolve a leitura superficial dos metadados – título, palavras-chave e resumo – de cada artigo.

A segunda etapa de triagem compreende a leitura completa dos trabalhos, resultando no recorte de apenas 34 artigos considerados relevantes, pois tratam de algum aspecto da socialização entre objetos. Na última etapa de triagem, após uma análise mais criteriosa e qualitativa, chegou-se a um total de dez artigos qualificados para análise e comparação com o modelo proposto, visto que eles contribuem de alguma forma para a gestão dos relacionamentos na Social IoT.

A distribuição de produções durante o período de estudo é a seguinte: 17% das publicações foram feitas em 2017; 18% em 2018; 20% em 2019; o mesmo volume de 20% é observado nos anos de 2020 e 2022. Em 2021, porém, houve apenas 5% das publicações. Nesse ano, possivelmente devido às restrições impostas pela pandemia da COVID-19, observa-se uma redução significativa na tendência de produções científicas nessa área de pesquisa. Contudo, a normalidade é retomada no ano seguinte, em 2022.



Figura 8 – Resumo da fase de classificação dos trabalhos analisados

A Tabela 2 detalha os artigos qualificados na RSL, incluindo o motor de busca utilizado para a seleção e o veículo utilizado para a publicação. Observando essa seleção de artigos qualificados, destaca-se o interesse da comunidade científica pelo tema da gestão dos relacionamentos entre objetos na Social IoT nos últimos anos do período de pesquisa estudado.

As produções científicas estão distribuídas entre os anos de 2020, 2021 e 2022, representando 50%, 30% e 20%, respectivamente, dos trabalhos alinhados aos objetivos desta pesquisa. Isso de certa forma reforça o interesse recente da comunidade no tema deste trabalho, visto que não há registros de produções nos anos anteriores de 2017 e 2018, sob a perspectiva dos critérios de busca definidos na RSL. Na sequência, a Seção 3.2, detalha aspectos relevantes na área da gestão de relacionamentos – *Relationship Management* (RM) – da Social IoT apresentados pelos artigos qualificados na Revisão Sistemática de Literatura (RSL).

## 3.2 Trabalhos Relacionados Qualificados na RSL

Esta seção apresenta uma reflexão sobre as contribuições e principais características dos modelos propostos pelos trabalhos qualificados, que estão alinhados com os objetivos deste estudo. Estes trabalhos servem como base para a proposição de um novo modelo voltado para a gestão de relacionamentos entre objetos inteligentes.

### 3.2.1 *Building dynamic communities of interest for Internet of Things in smart cities*

Aldelaimi; Hossain; Alhamid (2020) implementam um modelo de comunidade dinâmica de interesse – em inglês *Dynamic Community of Interest Model* (DCIM) – que agrupa objetos IoT para formar uma comunidade de conveniências. Nesse modelo, os

Tabela 2 – Detalhamento dos artigos qualificados após a RSL, considerando o buscador e o veículo de publicação

Referências	Buscador	Veículo de Publicação
Defiebre; Sacharidis; Germanakos (2020)	ACM	<i>Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization; in: Genoa, Italia</i>
Picone; Mamei; Zambonelli (2022)	ACM	<i>Transactions on Internet of Things</i>
Amin; Choi (2020)	IEEE	<i>International Conference on Computer and Communication Systems; in: Shanghai, China</i>
Fortino et al. (2022)	IEEE	<i>Transactions on Computational Social Systems</i>
Khanfor et al. (2020)	IEEE	<i>International Midwest Symposium on Circuits and Systems; in: Massachusetts, USA</i>
Khelloufi et al. (2021)	IEEE	<i>Internet of Things Journal</i>
Aldelaïmi; Hossain; Alhamid (2020)	SCOPUS	<i>Sensors - Switzerland</i>
Lye et al. (2020)	SCOPUS	<i>Sensors - Switzerland</i>
Meghana; Hanumanthappa; Prakash (2021)	SCOPUS	<i>Global Transitions Proceedings</i>
Zannou; Boulaalam et al. (2021)	SCOPUS	<i>Pervasive and Mobile Computing</i>

dispositivos partícipes têm facilidades para a comunicação e o compartilhamento de conteúdo relevante com os demais objetos, de maneira dinâmica.

O DCIM explora as características sociais dos objetos, suas habilidades e o relacionamento baseado no interesse em comum. Para isso, propõe uma abordagem de formação de grupos, que é semelhante a uma rede social para objetos da IoT, imitando o comportamento social humano.

Nesse modelo, tanto a adesão quanto o abandono da comunidade de interesse são responsabilidade dos próprios objetos, com mínima intervenção humana. Os proprietários dos objetos são responsáveis apenas na fase inicial, pela definição das regras de interação e de interesses. Os objetos que participam desse modelo podem ser telefones, dispositivos computacionais, sensores, eletrodomésticos, veículos, edifícios, animais ou qualquer outra coisa física, desde que tenham conectividade com a rede e alguma tecnologia computacional.

O modelo proposto assume que cada objeto possui uma identidade única que pode

ser facilmente identificada e com a qual se pode interagir. Uma das características da comunidade de interesse proposta é a sua dinamicidade, resultante da mobilidade dos objetos. O número de comunidades não é estático, pois a formação ocorre sempre que dois ou mais objetos satisfazem as condições de interesses em comum. Da mesma forma, uma comunidade é dissolvida quando tais condições deixam de ser cumpridas.

Cada comunidade formada tem um interesse comum, mas objetos com vários interesses podem participar de várias comunidades. Assim, pode haver uma sobreposição entre dois ou mais agrupamentos, quando vários objetos participam dessas comunidades simultaneamente. Objetos de uma mesma comunidade têm uma densidade de interações elevada e mantêm relacionamentos fortes, ao contrário de objetos de grupos diferentes.

Os autores propuseram vários critérios para a formação dinâmica das comunidades, como o interesse comum dos objetos, as regras de interação definidas pelo proprietário do dispositivo e o intervalo de comunicação com os pares. Para que essas funcionalidades sejam possíveis, os objetos compartilham seus perfis e buscam constantemente por novos laços sociais em seu entorno.

A Figura 9 esboça a arquitetura proposta para o DCIM. Basicamente, para que um objeto busque interesses comuns com outros, ele mantém uma referência aos seus próprios interesses no perfil do dispositivo.

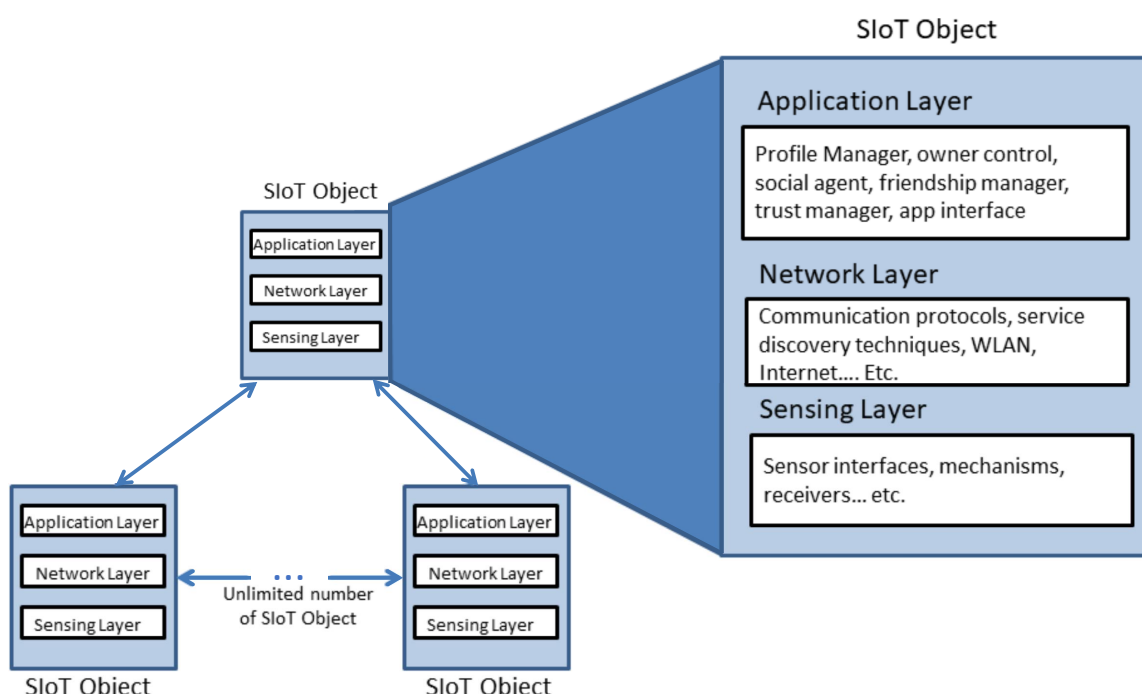


Figura 9 – *Framework* de interação direta entre objetos no DCIM

Fonte: Adaptado de (ALDELAIMI; HOSSAIN; ALHAMID, 2020)

Nesse modelo, a interação entre dois objetos é iniciada se eles estiverem dentro do alcance de comunicação um do outro. Logo, esse é o primeiro requisito para es-

tabelecerem uma relação. Assim, a área de cobertura de cada objeto para detecção de seus vizinhos ocorre em conformidade com os protocolos adotados pelo objeto e disponibilizados na camada de rede.

### 3.2.2 Social Pal: a combined platform for Internet of Things and social networks

Amin; Choi (2020) propõem um agente social que proporciona uma forma de comunicação entre os objetos e o servidor da SloT, denominado Social Pal ou amigo social em português. Esse agente é parte de uma plataforma que contém as funcionalidades necessárias para a integração das coisas em uma rede de socialização. O trabalho destaca as políticas apropriadas para o estabelecimento e gestão das relações sociais, de modo a tornar essa rede navegável.

As principais características do Social Pal incluem a criação de objetos, a definição das relações e a formação de um grupo de objetos com características semelhantes. A Figura 10 apresenta os componentes dessa plataforma, com destaque para: (i) o servidor da aplicação social; (ii) o cliente da aplicação social contendo a descrição, o perfil e a matriz de adjacência de um objeto, definidos pela interface web, e; (iii) o módulo de armazenamento, utilizado para prover os dados referentes aos objetos.

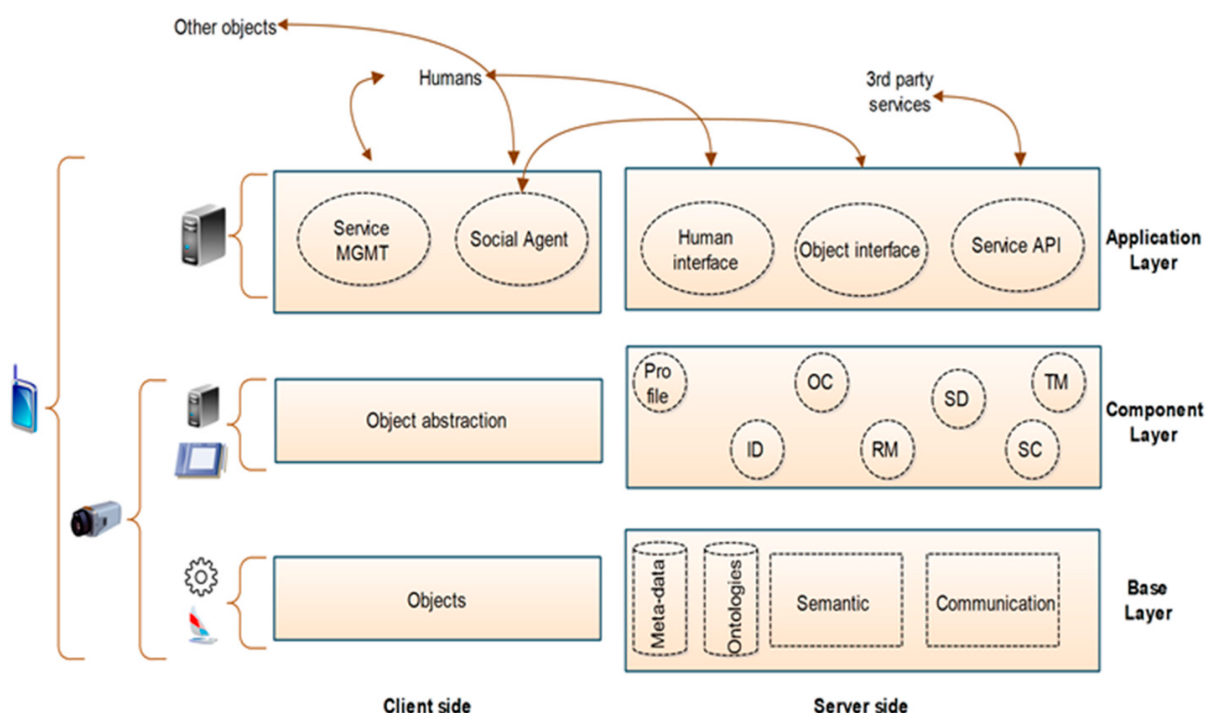


Figura 10 – Arquitetura da plataforma Social Pal, com agrupamentos de objetos semelhantes  
Fonte: Adaptado de (AMIN; CHOI, 2020)

O módulo do servidor de aplicativos é composto por três componentes principais: (i) gerenciamento de relacionamento de perfil; (ii) relacionamento dinâmico, oferecido por meio de uma função de gerenciamento de serviço, e; (iii) gerenciamento de grupo. A função de gerenciamento de serviço é o ponto de entrada para a descoberta de

solicitações, ou seja, é responsável por interpretar e avaliar tais pedidos. Também tem a função de conciliar a solicitação de serviço com o modelo disponível.

Nesse modelo, os objetos podem solicitar dados diretamente aos vizinhos, desde que possuam a chave correspondente ao dispositivo em questão. A plataforma adota uma chave para a leitura e outra para o envio de mensagens no ambiente. Outra modalidade de solicitação são aquelas feitas do objeto para o servidor, que são atendidas mediante dois modelos: o modelo *Pull*, no qual cada objeto solicita dados em intervalos regulares ou quando há demanda, já no modelo *Push*, os dados são enviados do servidor para os objetos disponíveis. Os objetos são identificados e cadastrados previamente na máquina cliente, por meio de uma interface *Web*.

### 3.2.3 ***A decentralized recommendation engine in the Social Internet of Things***

Defiebre; Sacharidis; Germanakos (2020) propõem um mecanismo de recomendação na SIoT executado em uma arquitetura descentralizada. O principal objetivo é facilitar o emparelhamento ideal de objetos e fornecer recomendações com melhor ajuste durante as interações no espaço virtual.

As principais características deste modelo de recomendação incluem:

- O uso de informações descentralizadas em uma rede social totalmente dinâmica, em oposição à rede estática adotada atualmente pela maioria dos sistemas de recomendação;
- As informações distribuídas entre os objetos não são centralmente controladas, permitindo assim o compartilhamento sem especificação prévia. Contudo, apenas informações locais podem ser usadas quando os objetos calculam suas recomendações. Com isso, nenhum objeto tem acesso completo ao histórico de todos os pares. O objeto pode decidir coletar informações adicionais de sua rede, para melhorar a qualidade das recomendações;
- Os objetos decidem por si, com base em um modelo de qualidade de amizade, quais conexões devem ser encerradas, para manter a qualidade elevada de sua vizinhança. Isso altera a rede social e, conseqüentemente, como as informações são disseminadas, pois o recomendador não tem influência na formação da comunidade, mantendo a dinâmica da rede social;
- Os objetos se comunicam por meio da arquitetura descentralizada com o propósito de aderir ao modelo global.

Este modelo de recomendação é um dos principais componentes do *Dynamic and Anthropomorphic Network of Objects System* (DANOS) - em português sistema dinâmico e antropomórfico de redes de objetos. O modelo foi avaliado com um conjunto

de dados em pequena escala, mostrando sua eficácia em todo o ambiente descentralizado. O DANOS permite a realização de recomendações que desafiam a adoção de um dispositivo centralizador, que detém o conhecimento completo dos dados e do ambiente. A Figura 11 demonstra o fluxo de informações na plataforma.

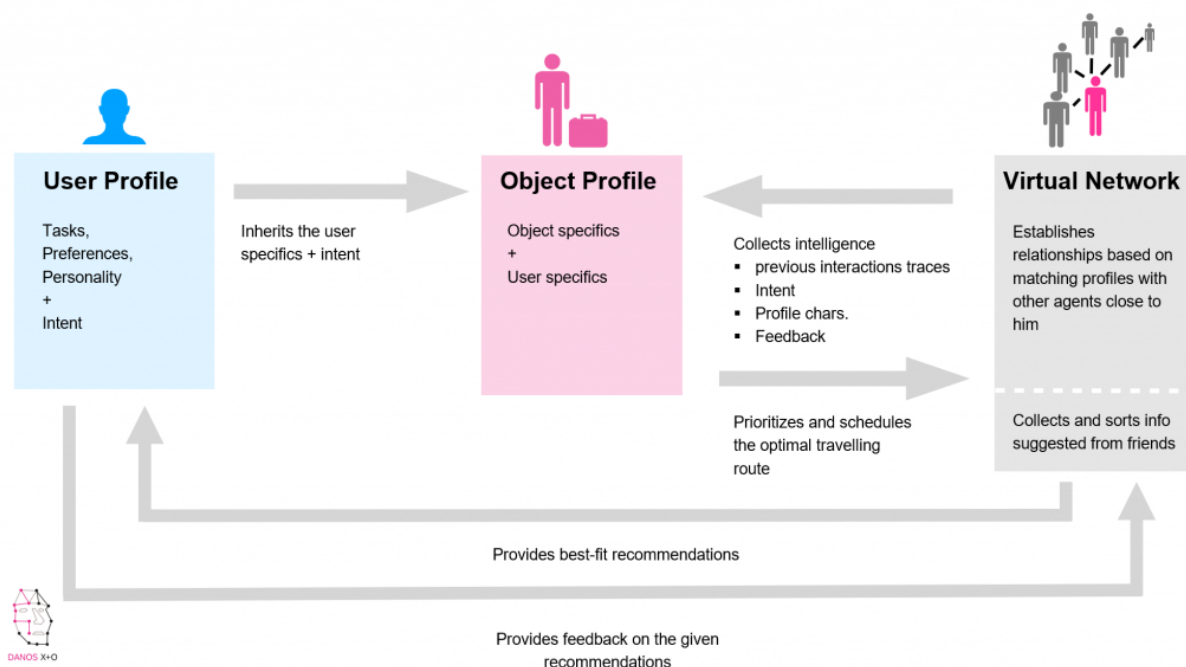


Figura 11 – *Framework* para estabelecer amizades no DANOS, baseado nos interesses em comum

Fonte: Adaptado de (DEFIEBRE; SACHARIDIS; GERMANAKOS, 2020)

O DANOS contém áreas virtuais de interação que facilitam a identificação das informações desejadas, como, por exemplo, uma área dedicada às recomendações de produtos. Dessa forma, aqueles que desejam consumir um produto realizam a busca nesta região específica da plataforma. A área é organizada em células, que funcionam como salas virtuais onde os objetos se visitam para estabelecer amizades. Assim, o DANOS apenas facilita o processo de estabelecimento de amizades, mas a troca de informações ocorre diretamente entre objetos amigos.

### 3.2.4 *Computational resource allocation for edge computing in Social Internet of Things*

Khanfor et al. (2020) fundamentam um *framework* composto por duas fases, conforme destacado na Figura 12. A primeira, denominada de *Trustworthy Community Detection Phase* (TCDP), em português Fase de Detecção de Comunidade Confiável, visa detectar comunidades que reúnem dispositivos de IoT com fortes relações sociais. A intenção dessa fase é reduzir o espaço de busca de dispositivos adequados, limitando-se aos mais confiáveis para atender uma solicitação, por exemplo, selecionando os objetos mais próximos em termos de localização e propriedade.

A segunda fase do modelo é chamada de *Matching Device Phase* (MDP), ou Fase de Dispositivo Apropriado, em português. Essa fase prevê o tempo necessário para os potenciais computadores de borda candidatos, pertencentes à mesma comunidade do solicitante, executarem uma tarefa. Essa fase também determina o objeto que possui os recursos necessários para fornecer o serviço no menor tempo possível (KHANFOR et al., 2020).

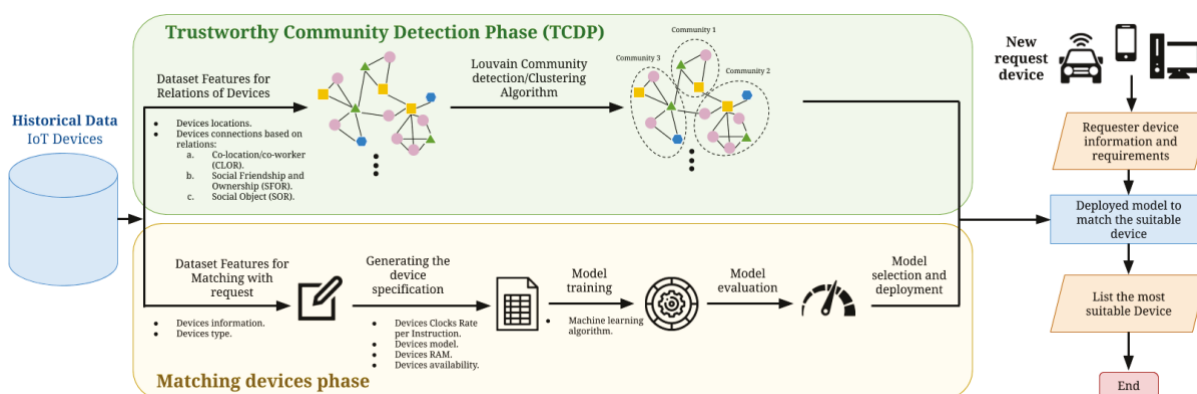


Figura 12 – *Framework* TCDP para composição de comunidades com base na confiança  
Fonte: Adaptado de (KHANFOR et al., 2020)

O modelo proposto combina a capacidade de detecção de comunidades com o aprendizado de máquina, permitindo a descoberta eficaz de serviços e a designação de computadores de borda próximos aos dispositivos com recursos computacionais mais limitados. Essa solução reduz a complexidade na descoberta de serviços e no espaço de pesquisa, aplicando técnicas de aprendizado de máquina que não requerem treinamento recorrente, o que é benéfico aos sistemas de IoT em grande escala.

### 3.2.5 *Creating personalized recommendations in a smart community by performing user trajectory analysis through Social Internet of Things deployment*

Lye et al. (2020) argumentam que a Filtragem Colaborativa ou *Collaborative Filtering* (CF), supera as desvantagens dos sistemas de recomendação baseados em conteúdo ao incorporar a opinião da comunidade. A filtragem colaborativa baseia-se na ideia simples de agrupar os usuários X e Y caso apresentem semelhanças. A técnica pressupõe que, se existem aspectos similares entre os usuários, seus interesses provavelmente sejam equivalentes. Assim, ao gerar uma sugestão de serviços, o mecanismo de recomendação busca habilidades presentes no perfil do usuário X, mas que estejam ausentes em Y, e essas características são então recomendadas para o usuário Y.

O método CF pressupõe que um usuário é mais propenso a visitar um determinado local de interesse caso suas preferências e históricos anteriores sejam semelhantes

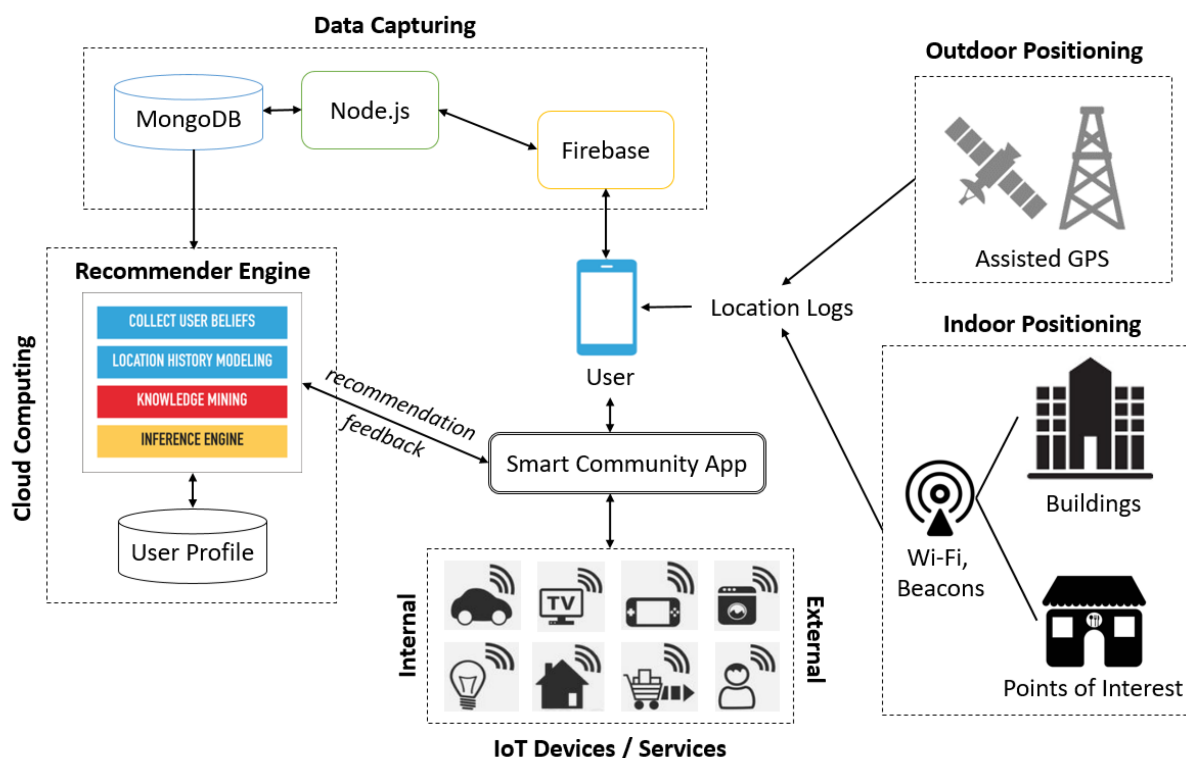


Figura 13 – Arquitetura da plataforma UniCAT, com recomendações baseadas no *feedback*  
 Fonte: Adaptado de (LYE et al., 2020)

aos de outros usuários que visitaram o mesmo local. Existem duas abordagens principais na Filtragem Colaborativa: a baseada no usuário e a baseada no item ou objeto. Ambas as abordagens são determinadas pelo grau de similaridade entre pares, sejam eles usuários – pessoas – ou itens – objetos -.

Em uma rede social baseada em localização, as semelhanças entre usuários ou objetos são determinadas pela sua posição no ambiente. A localização pode ser inferida a partir das classificações feitas pelos pares ou pelo histórico de trajetórias. Portanto, o CF envolve três aspectos principais: a preferência do usuário, o vizinho mais próximo e a geração de recomendações.

Com base nesses pontos, a estrutura proposta utiliza o método de Análise de Ligações ou *Link Analysis* (LA), para obter a correlação de localização, permitindo uma Filtragem Colaborativa baseada em itens mais eficaz e precisa, gerando recomendações genéricas e personalizadas. A proposta também incorpora a modelagem de crença hierárquica – *Knowledge-Desire-Intention* (KDI) – para definir o perfil do usuário, além do algoritmo *Slope One*, aplicado como um modelo de regressão linear simples para resolver o problema de recomendação.

Além disso, a estrutura utiliza um mecanismo de *feedback* do usuário, que ajusta os vetores de peso dos itens após cada sessão de recomendação, evitando o problema de otimização local. Assim, essa estrutura baseia-se na análise da trajetória do usuário, independentemente do domínio, adequada para todos os tipos de aplica-

ções IoT.

### 3.2.6 A social relationships based service recommendation system for SIoT devices

Khelloufi et al. (2021) enfatizam nesse estudo a importância da incorporação das características sociais dos usuários na recomendação de serviços na IoT. Eles enfatizam que considerar as relações sociais entre os proprietários dos dispositivos pode aumentar a eficiência dos serviços recomendados e aprimorar a oferta de serviços contextualizados. A Figura 14 ilustra um sistema de recomendação de serviços que aproveita as relações sociais entre o solicitante e o provedor desse serviço. A recomendação é baseada nas diferentes relações existentes entre esses usuários.

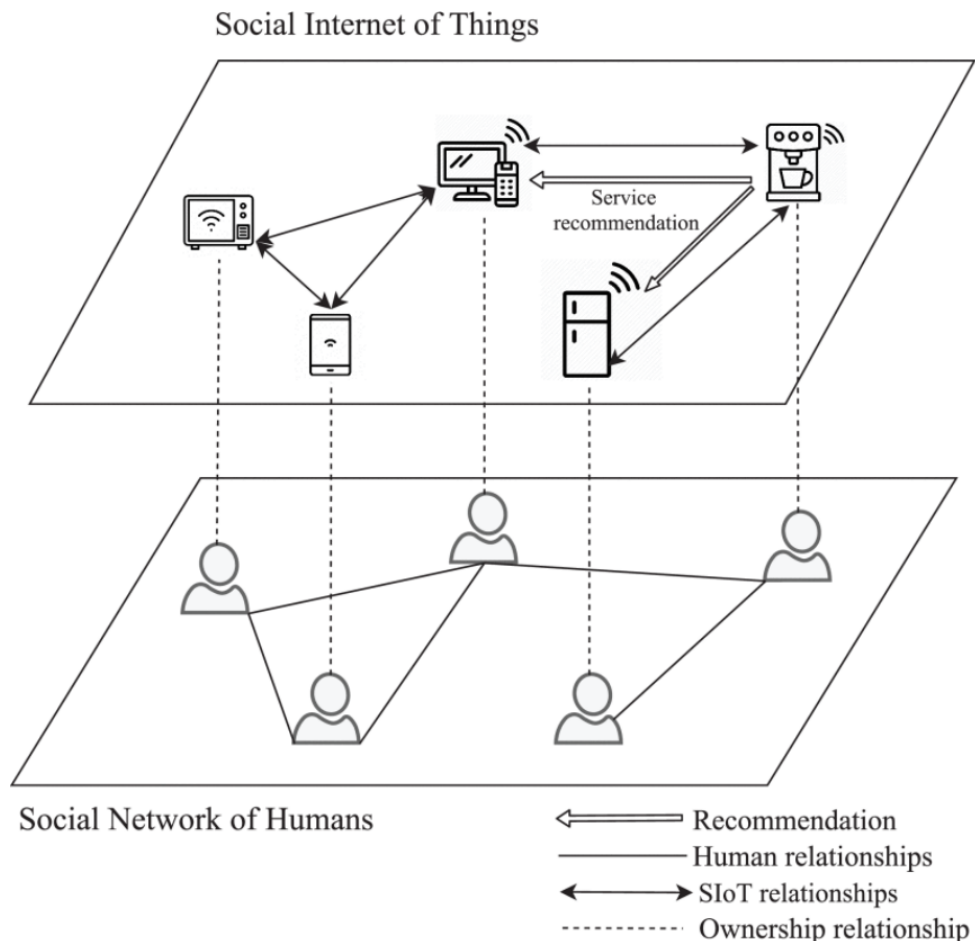


Figura 14 – Arquitetura do sistema *Service Recommendation*

Fonte: Adaptado de (KHELLOUFI et al., 2021)

Os resultados experimentais apresentados no estudo indicam que, no contexto da IoT, a incorporação das relações sociais dos usuários na recomendação de serviços melhora a precisão e a diversidade dos serviços oferecidos. Essa abordagem indica ainda, que compreender e utilizar as interações sociais pode ser um caminho promissor para aprimorar a eficácia dos sistemas de recomendação no cenário da

Internet das Coisas.

### 3.2.7 *Performance comparison of machine learning algorithms for data aggregation in social internet of things*

Meghana; Hanumanthappa; Prakash (2021) propõem um método para agregar dados da SIoT e as condições utilizadas para classificar os relacionamentos entre os dispositivos. A Figura 15 descreve o fluxo de agregação de dados gerados na Social IoT, proposto pelos autores.

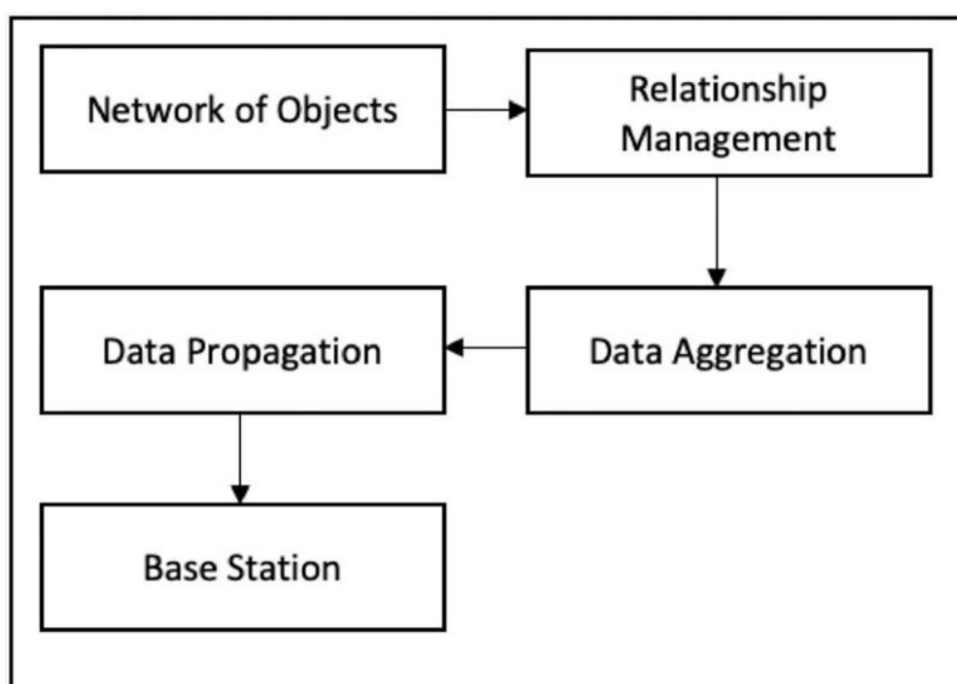


Figura 15 – Fluxo do *Data Aggregation* sobre os dados gerados na Social IoT  
 Fonte: Adaptado de (MEGHANA; HANUMANTHAPPA; PRAKASH, 2021)

No ambiente da Social IoT, na perspectiva dos autores, os objetivos formam redes e o gerenciamento de relacionamentos determina a interação entre eles. Adicionalmente, os dados enviados por cada dispositivo são acumulados e propagados para a estação base por meio de módulos dedicados. No trabalho, os dados gerados pelos dispositivos da Social IoT são agregados usando uma técnica baseada em *cluster*.

Esses dados agrupados são submetidos a algoritmos de aprendizado de máquina, tais como *Decision Tree* (DT), *K-Nearest Neighbors* (KNN), *Naive Bayes* (NB) e *Artificial Neural Network* (ANN). Esses algoritmos testam o conjunto de dados para determinar as amizades entre os dispositivos. Os resultados experimentais mostram que os algoritmos DT e ANN têm um desempenho superior em comparação com outros algoritmos de aprendizado de máquina. Essa abordagem evidencia a possibilidade de combinar técnicas de agregação de dados e aprendizado de máquina para aprimorar o gerenciamento de relacionamentos em redes da Social IoT.

### 3.2.8 Relevant node discovery and selection approach for the Internet of Things based on neural networks and ant colony optimization

Zannou; Boulaalam et al. (2021) ressaltam que a tarefa de descoberta de serviços pode apresentar um conjunto de provedores para uma determinada solicitação. Portanto, a seleção do nó provedor mais relevante deve levar em consideração os recursos disponíveis, como o nível energético e o tempo de processamento. Para superar essas condições é proposta uma abordagem para a descoberta e seleção de serviços no ambiente IoT.

A Figura 16 denota a arquitetura proposta que facilita a busca de um nó relevante para fornecer um serviço específico. A arquitetura compreende três fases distintas: a fase de treinamento, a fase de reconhecimento e a fase de seleção.

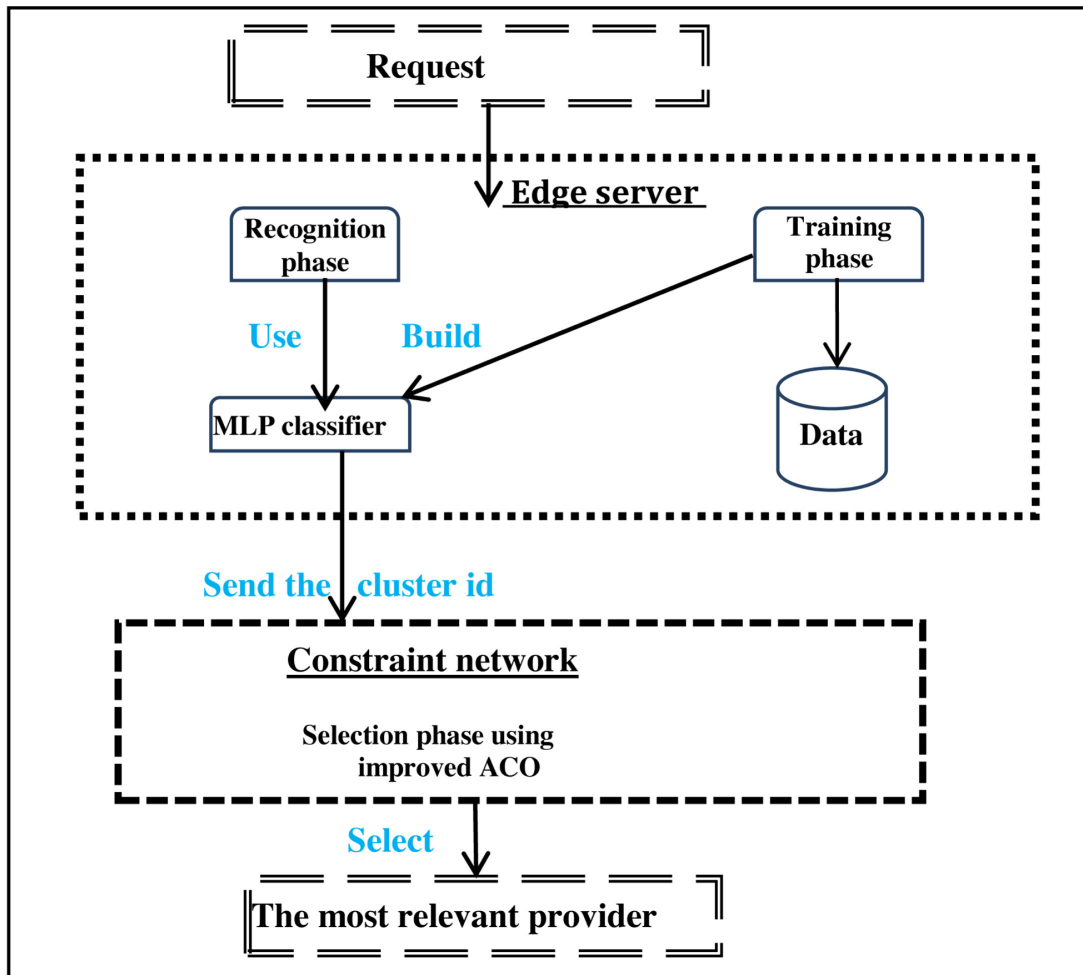


Figura 16 – Arquitetura do *framework Services Provider* para seleção de provedor na IoT  
Fonte: Adaptado de (ZANNOU; BOULAALAM et al., 2021)

A fase de descoberta é realizada por um servidor de borda usando uma rede neural, enquanto a fase de seleção é realizada pelos nós para selecionar o mais adequado a partir do conjunto de nós relevantes, usando o *Ant Colony Optimization* (ACO). Os resultados experimentais mostram alto desempenho em termos de precisão (96,5%) e

maior tempo de vida da rede para as fases de descoberta e seleção respectivamente.

### 3.2.9 A social edge-based IoT framework using reputation-based clustering for enhancing competitiveness

Fortino et al. (2022) introduzem um *framework* baseado no conceito de resiliência social, chamado ResloT, que usa um modelo de reputação, considerado pelos autores como uma solução prática e eficaz para a formação de comunidades locais de agentes com fins colaborativos. O ResloT opera com base nas capacidades sociais dos objetos, bem como nas reputações calculadas pelo *feedback* fornecido pelos próprios agentes durante as interações.

Nesse modelo, o valor da reputação geral de cada grupo de agentes é constantemente atualizado, implementando contramedidas para evitar conluio e atividades enganosas que possam distorcer a reputação. A atualização da reputação leva em conta apenas o *feedback* relacionado àquelas interações que atendem a determinados requisitos.

Além disso, o ResloT também implementa um algoritmo para formação de times ou equipes  $t$  dentro do domínio de borda  $E$  (ver Figura 17). Esse algoritmo cria um ambiente competitivo, onde os agentes precisam ter uma reputação individual equivalente à reputação do grupo que pretendem solicitar o ingresso. Isso fortalece a resiliência do sistema e promove a colaboração entre os agentes.

O ResloT permite que objetos migrem entre diferentes ambientes, levando consigo pontuações de reputação. A presença de equipes facilita a seleção de parceiros confiáveis. No entanto, a formação dos grupos e a definição dos limites de filiação precisam ser mais versáteis e eficientes para lidar com possíveis mudanças no ambiente, como o aumento da população de dispositivos ou a presença de agentes maliciosos.

No ResloT, o administrador da rede define o número máximo de equipes permitidas em seu domínio gerenciado e estabelece um limite mínimo de reputação exigido para que um agente possa se juntar a uma equipe. Dessa forma, cada agente se filia à equipe mais adequada dentro da rede. Periodicamente, o administrador verifica os valores de reputação de cada agente em sua rede e verifica a compatibilidade das filiações nas equipes.

A arquitetura do ResloT ilustrada na Figura 17 abrange um grande número de dispositivos heterogêneos com recursos limitados. Nesse contexto, os agentes podem cooperar mutuamente para alcançar seus respectivos objetivos da forma mais eficiente possível.

Para promover as atividades de cooperação, cada dispositivo é assistido por um agente de software hospedeiro, que utiliza suas habilidades sociais e atua em nome do dispositivo. Dessa forma, os agentes interagem entre si para realizar diversas atividades sociais.

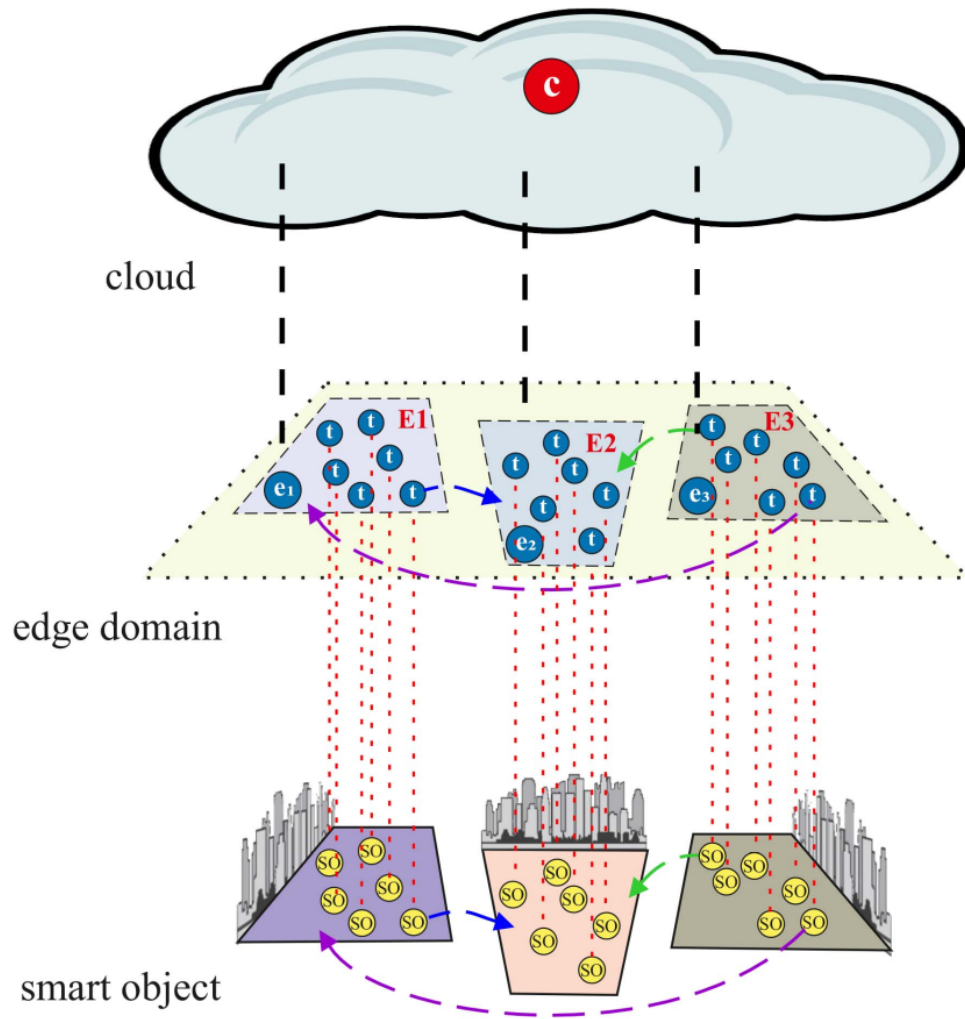


Figura 17 – Arquitetura do *framework* ResloT para mapeamento das relações com base na reputação

Fonte: Adaptado de (FORTINO et al., 2022)

A Figura 17 apresenta um conjunto de dispositivos e agentes centrais na arquitetura, prevendo a execução de várias atividades coordenadas na estrutura. Por exemplo, cada objeto inteligente  $SO$  realiza sua ativação no ambiente e é associado a um agente de confiança  $t$ , pertencente a um determinado domínio de borda  $e$  na respectiva borda  $E$ . Para iniciar esse processo, é necessário enviar um pedido de filiação do  $SO$  para um grupo ativo na borda  $e$ . A identidade do  $SO$  é associada ao seu grupo de origem, embora possa fazer pedidos ou participar de outros grupos. Logo, um agente de confiança  $t$  pode representar tanto um objeto inteligente  $SO$  provedor de serviços quanto um objeto consumidor.

### 3.2.10 A flexible and modular architecture for edge digital twin: implementation and evaluation

Picone; Mamei; Zambonelli (2022) propõem uma nova abordagem para modelar

e implementar gêmeos digitais na borda, denominado como *Edge Digital Twin* (EDT), destinado ao aprimoramento, digitalização e interoperabilidade da IoT. O projeto arquitetônico EDT na Figura 18 detalha a implementação que, além de lidar com questões operacionais, também contribui para o avanço do estado da arte atual, que se limita a explorar o conceito de gêmeo digital em termos de visões orientadas a modelos, simulações ou definições, enquanto seu potencial de interoperabilidade ainda é pouco explorado em soluções IoT.

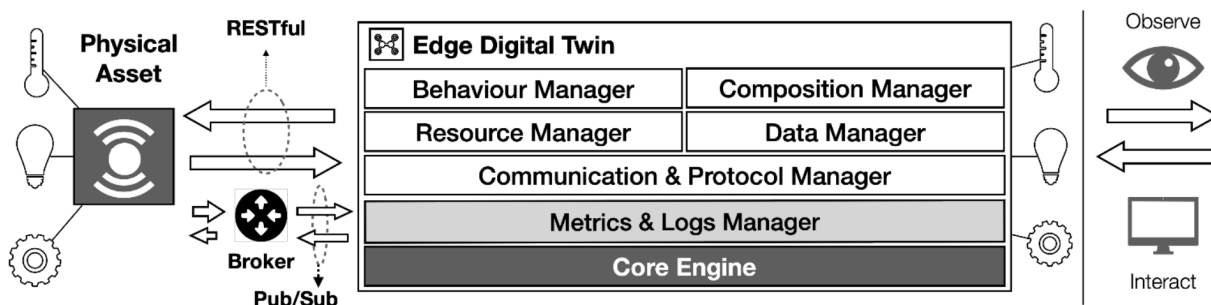


Figura 18 – Arquitetura modular flexível do EDT

Fonte: Adaptado de (PICONE; MAMEI; ZAMBONELLI, 2022)

Portanto, a solução explora a possibilidade de o virtual operar efetivamente ao lado de um ativo físico. A implementação do EDT facilita a replicação de dispositivos físicos, fornecendo uma camada de abstração digital eficiente para suportar a colaboração autônoma e a padronização de objetos e serviços.

A capacidade de lidar com a composição de serviços internamente no EDT e diretamente na borda reduz a latência e a complexidade do aplicativo. Com isso, há uma simplificação na arquitetura resultante e permite que componentes externos interajam imediatamente com entidades agregadas de destino, sem manipular ou mesmo conhecer a complexidade das implementações subjacentes.

Os EDTs oferecem novos padrões de interoperabilidade, permitindo que coisas e serviços cooperem perfeitamente, sem necessidade de conhecimento prévio ou configuração. A arquitetura do EDT suporta diferentes escopos, visibilidade e granularidade, dependendo do domínio da aplicação, dos casos de uso modelados e dos dados consumidos no ambiente.

Como fechamento desta interpretação dos trabalhos correlatos, a próxima seção consolida as principais contribuições oferecidas pelos estudos. Essa análise é realizada considerando os aspectos mais relevantes na perspectiva da gestão dos relacionamentos estabelecidos entre os objetos inteligentes.

### 3.3 Análise das Abordagens

O início desta análise se concentra nas características arquiteturais e nas principais funcionalidades abordadas pelos trabalhos qualificados, os quais oferecem uma variedade de implementações. A Tabela 3 compara esses aspectos pertinentes a cada trabalho e também destaca a abordagem proposta nesta tese, denominada *Virtual Interactions between Social Objects* (VISO) - Interações Virtuais entre Objetos Sociais, em português.

Tabela 3 – Comparação da abordagem proposta com o estado da arte à luz da principal contribuição e do modelo arquitetural

Referência	Contribuição a Gestão das Relações	Arquitetura
Amin; Choi (2020)	Comunicação entre os objetos e o servidor da SIoT	Centralizada
Khanfor et al. (2020)	Seleção de comunidades e prestadores de serviços	Centralizada
Lye et al. (2020)	Filtragem colaborativa baseada na opinião da comunidade	Centralizada
Meghana; Hanumanthappa; Prakash (2021)	Classificação dos relacionamentos entre dispositivos	Centralizada
Aldelaïmi; Hossain; Alhamid (2020)	Formação de comunidade dinâmica de interesse	Distribuída
Defiebre; Sacharidis; Germanakos (2020)	Recomendação dinâmica de relações sociais	Distribuída
Khelloufi et al. (2021)	Recomendação de serviços com base em redes sociais	Distribuída
Zannou; Boulaalam et al. (2021)	Seleção do provedor mais relevante para determinado serviço	Distribuída
Fortino et al. (2022)	Formação de comunidades locais de agentes	Híbrida
Picone; Mamei; Zambonelli (2022)	Estruturada de gêmeo digital na borda para gestão ativa de microsserviços	Híbrida
Camargo; Pernas; Yamin (2022) abordagem VISO	Organização hierárquica dos objetos para atendimento de requisições	Híbrida

Além dos pontos tabulados, outras contribuições significativas das implementações são evidenciadas na perspectiva da gestão dos relacionamentos. Esses trabalhos qualificados na RSL destacam formas distintas em políticas de relacionamento e na composição das comunidades de objetos voltadas para os ambientes inteligentes da Social IoT, conforme descrito:

- Aldelaïmi; Hossain; Alhamid (2020) organizam objetos em comunidades de conveniências por interesses ou habilidades, facilitando a comunicação e o compartilhamento entre os objetos, de forma dinâmica.
- Amin; Choi (2020) agrupam coisas com características semelhantes e registram uma matriz de adjacência, agilizando a definição do prestador do serviço e a fluidez da comunicação.
- Defiebre; Sacharidis; Germanakos (2020) compartilham informações de confiança e habilidades entre os objetos em vez de agrupar. As recomendações são calculadas com base em informações locais e nenhum objeto tem acesso a todo o histórico de todos os pares.
- Khanfor et al. (2020) unem dispositivos com fortes relações sociais e realizam a previsão do tempo necessário para a realização de uma tarefa, determinando o dispositivo com os recursos necessários para fornecer o serviço no menor tempo.
- Lye et al. (2020) associam objetos que avaliaram alguns itens em comum, pois os interesses podem ser semelhantes. O mecanismo de recomendação também oferece serviços ainda não explorados por objetos do mesmo grupo.
- Khelloufi et al. (2021) oferecem um sistema de recomendação de serviços que aproveita as relações sociais entre os proprietários dos dispositivos. Para isso, incorpora os recursos sociais dos usuários para aumentar a eficiência das recomendações e da oferta dos serviços pelo provedor de forma contextualizada.
- Meghana; Hanumanthappa; Prakash (2021) consideram o grande volume de dados gerados na IoT, propondo a agregação dos dados relacionados às características dos objetos para análise e geração de uma classificação das relações estabelecidas entre os objetos, considerando a aplicação de diferentes métodos de avaliação baseados em aprendizado de máquina.
- Zannou; Boulaalam et al. (2021) enfatizam que a tarefa de descobrir e selecionar o nó provedor mais relevante deve levar em consideração os recursos disponíveis, como a energia elétrica e o tempo para a resposta. Para tanto, foi concebida uma abordagem para a descoberta e seleção de serviços na IoT. Com esse intuito, utiliza rede neural em um servidor de borda para a seleção do provedor.
- Fortino et al. (2022) reúnem os agentes com reputação equivalente e tal valor é atribuído separadamente para cada habilidade do objeto. O administrador do

ambiente estabelece o número máximo de equipes e o valor mínimo de reputação exigido dos agentes.

- Picone; Mamei; Zambonelli (2022) implementam uma camada de abstração digital eficiente para suportar a colaboração autônoma e a padronização de coisas e serviços. Dessa forma, conduzindo a integração de dados e serviços em implantações heterogêneas de borda IoT.
- Camargo; Pernas; Yamin (2022) – abordagem proposta nesta tese, VISO – integra a virtualização dos objetos, com a organização hierárquica e a avaliação realizada pelos pares. Nesse contexto, objetos mais ativos e com melhor reputação são priorizados em recomendações para atender requisições de serviços ou informações no ambiente.

A análise dos trabalhos relacionados revela a diversidade de abordagens e técnicas empregadas para o gerenciamento de relacionamentos em ambientes da IoT. Cada trabalho aborda desafios específicos e propõe soluções adequadas para lidar com esses desafios. Através dessas contribuições, é possível ter uma visão mais abrangente das diferentes estratégias e abordagens disponíveis para melhorar a eficiência e eficácia dos sistemas de Social IoT.

O reconhecimento de um objeto no ambiente, por exemplo, é um desafio latente em ambientes inteligentes, pois esse é o passo inicial no estabelecimento de relações com outros dispositivos. Os quais precisam declarar as suas funcionalidades e a sua disponibilidade para interações. Além disso, a disponibilidade de um dispositivo pode variar com o tempo, devido a vários fatores, incluindo a dinâmica das relações, o histórico de transações e a opinião dos pares sobre a experiência nessas transações. Esses fatores podem afetar a eficácia e a eficiência dos sistemas projetados para IoT.

Logo, a organização dos ambientes inteligentes é uma questão chave que envolve o estabelecimento de relações e o compartilhamento de recursos entre objetos. Contudo, devido ao crescente número de dispositivos que compõem esses ambientes, um desafio adicional é a garantia da capacidade de resposta em tempo de execução e o suporte à escalabilidade desses sistemas.

Outra questão chave é a definição da arquitetura empregada pela solução IoT. Nesse sentido, as arquiteturas centralizadas, distribuídas e híbridas têm suas próprias vantagens e desvantagens, dependendo das características estruturais do ambiente. Em qualquer caso, é crucial implementar mecanismos de controle e definir políticas de relacionamento claras para minimizar a instabilidade no ambiente.

A abordagem VISO segue uma tendência recente das aplicações IoT, ao deslocar o processamento para mais próximo da borda, como estratégia de aprimoramento das respostas operacionais, ao tempo que mantém uma estrutura remota para algumas

atividades, como a predição de amizades, que requer um maior poder computacional. Neste sentido, a VISO se caracteriza como uma arquitetura híbrida, mas tendo como principal diferencial, realizar a gestão dos relacionamentos entre objetos no próprio ambiente inteligente.

A diversidade de abordagens reflete a complexidade e as considerações envolvidas na gestão de relacionamentos em ambientes da IoT, sendo essa, uma temática multidimensional que requer soluções inovadoras e adaptáveis. As contribuições dos trabalhos relacionados fornecem percepções valiosas para o desenvolvimento contínuo de soluções na área da Social IoT. Diante desses desafios, o Capítulo 4 oferece uma visão aprofundada do modelo proposto, discutindo a sua relevância para a gestão dos relacionamentos na Social IoT. Outrossim, de modo mais específico, os diferenciais em relação ao estado da arte construído a partir da RSL, estão registrados na Seção 4.10.

## 4 ABORDAGEM VISO: UMA CONTRIBUIÇÃO À SOCIALIZAÇÃO ENTRE OBJETOS DA INTERNET DAS COISAS

Este capítulo concentra-se na elaboração da abordagem chamada *Virtual Interactions between Social Objects* (VISO) que em português significa Interações Virtuais entre Objetos Sociais. Primeiramente, as características estruturais essenciais de um ambiente inteligente são examinadas e discutidas. Trazendo luz sobre as ações necessárias para gerenciar as relações autônomas estabelecidas entre os objetos nesse ambiente. A base teórica para a modelagem dos requisitos da VISO e a organização do ambiente são fundamentadas nas contribuições identificadas em trabalhos relacionados.

A abordagem VISO integra o conhecimento adquirido na análise da literatura existente e contempla um ecossistema que atende às necessidades dos ambientes inteligentes contemporâneos, levando em consideração as particularidades da Social IoT. Seu objetivo é criar uma estrutura que facilite a gestão dos relacionamentos entre os objetos, permitindo que eles interajam de maneira mais eficiente e eficaz.

As seções subsequentes detalham cada componente da abordagem VISO. A primeira, a Seção 4.1 discute a origem do nome, dos símbolos e dos artefatos visuais que caracterizam essa abordagem. A Seção 4.2 de mapeamento do ambiente define a estrutura básica desse local. A Seção 4.3 descreve as estratégias para a virtualização dos objetos. Na sequência, a Seção 4.4 oferece o mapeamento das entidades-chave modeladas. A Seção 4.5 descreve os algoritmos implementados para a formação de comunidades ou círculos sociais. A Seção 4.6 detalha os papéis exercidos pelos objetos, conforme as conexões estabelecidas entre eles. A Seção 4.7, por sua vez, mapeia a relevância dessas conexões decorrentes do método de recomendação implementado.

Os aspectos arquiteturais da VISO estão agrupados na Seção 4.8 que descreve o modelo abstrato, o modelo conceitual e o modelo funcional da arquitetura, incluindo a estrutura hierárquica proposta, os diferentes níveis de interação e os mecanismos para a gestão autônoma dos relacionamentos entre os objetos. A Seção 4.9 detalha as contribuições e características funcionais das metodologias incorporadas ao VISO.

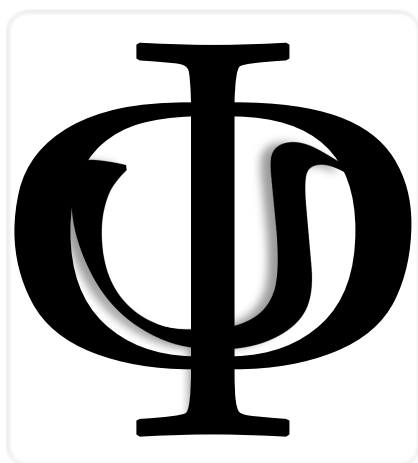
Ao final, a Seção 4.10 destaca os aspectos promissores dessa nova abordagem.

Este capítulo tem o objetivo de proporcionar uma compreensão clara e abrangente da abordagem VISO, destacando sua originalidade e potencial para melhorar a gestão dos relacionamentos entre os objetos em ambientes de Social IoT. Também será discutido como a VISO se compara com outras abordagens na literatura, caracterizando suas vantagens e possíveis limitações. Ao final do capítulo, espera-se que o leitor tenha uma compreensão sólida dos valores e potencialidades da abordagem VISO para a gestão de relacionamentos em ambientes inteligentes.

## 4.1 Apresentação

O acrônimo para *Virtual Interactions between Social Objects* (VISO) – em português, interações virtuais entre objetos sociais – no dicionário desse idioma a palavra “viso” também remete à ideia de aspecto, aparência, fisionomia e vislumbre (DICIO, 2023). À vista disso, o sentido literal da palavra viso, de aparência, está caracterizado no método adotado para o agrupamento daqueles objetos tidos como semelhantes sob algum aspecto funcional.

Na perspectiva do acrônimo VISO, a similaridade também sintetiza uma das principais características dessa estrutura orientada a socialização entre objetos. A Figura 19 revela as logomarcas associadas à abordagem VISO, que possuem um simbolismo especial.



(a) Emblema contendo as iniciais da VISO



(b) Identidade visual para as aplicações

Figura 19 – Logomarcas associadas a abordagem *Virtual Interactions between Social Objects* (VISO)

Na Figura 19(a), o círculo representa um ambiente inteligente e seus objetos - letra *O*. Este ambiente comporta a virtualização - letra *V* da esquerda para a direita - e a socialização - letra *S* na direita - desse círculo, o qual é seccionado pelas interações entre objetos - letra *I* - que transcendem ao ambiente principal e podem ocorrer em

outros locais, conforme as necessidades do seu proprietário. A Figura 19(b) faz referência a identidade visual adotada em ícones, aplicativos e demais interfaces da VISO.

O emblema da VISO é originado da fusão de duas letras gregas -  $\phi$  (phi) e  $\psi$  (psi) - que compõem a palavra viso naquele idioma. Além disso, estas letras são associadas, respectivamente, a razão de ouro envolvendo a ordem de crescimento na natureza e, a segunda, a conotação de alma. De certa forma, estas características são desejáveis na abordagem da VISO, quais sejam, o suporte ao crescente número de objetos ativos, como também, a sua estrutura sirva de essência para as interações em um ambiente inteligente.

## 4.2 Mapeamento do Ambiente Inteligente

Inicialmente, considera-se como ambiente inteligente um local composto por vários elementos, incluindo meios de comunicação, um conjunto de objetos e um dispositivo central que organiza as relações sociais e distribui as requisições, denominado *middleware*, apresentados na Figura 20. Esses elementos são fundamentais para permitir o fluxo de mensagens e das interações entre os membros da comunidade.

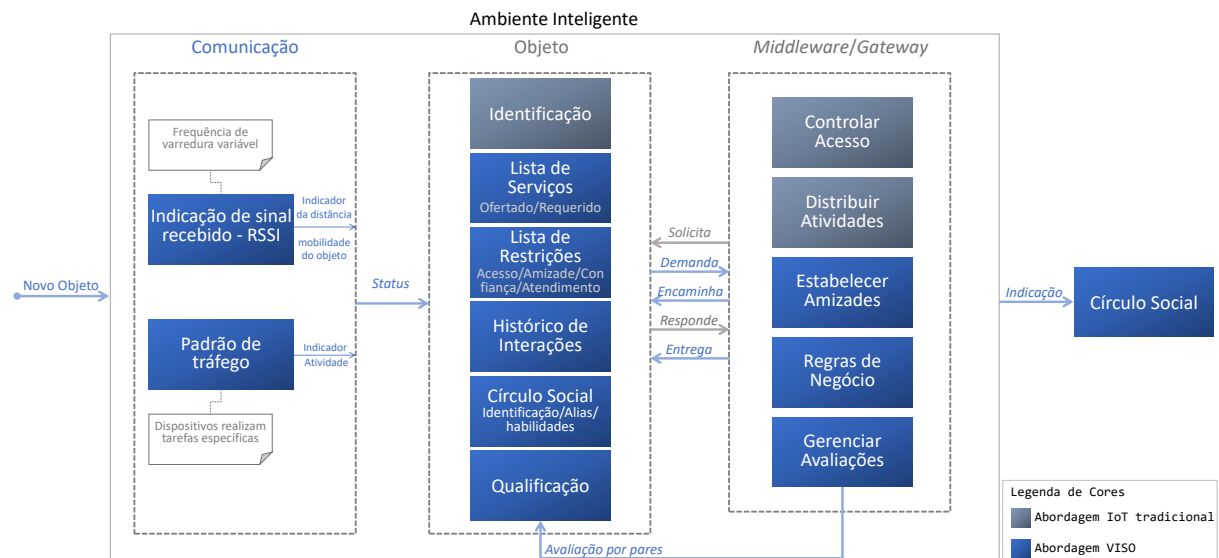


Figura 20 – Fluxo de interações na abordagem VISO para um objeto inserido no ambiente inteligente

Esta estrutura proposta para um ambiente inteligente promove avanços sobre a estrutura tradicional de soluções baseadas na IoT (ver Figura 1). Com isso, há novos fluxos de comunicação e a instrumentação necessária para a gestão dos relacionamentos entre os objetos. Assim, o ambiente permite a inserção de novos objetos e passa a atender diversas finalidades, sem ficar restrito as demandas de apenas uma aplicação. A própria aplicação IoT pode ser entendida como um objeto e, como tal, pode demandar por serviços e informações de dentro desse ambiente inteligente.

Nesse sentido, é plausível afirmar que os meios de comunicação, os objetos com interface de rede e o servidor de borda ou *middleware* constituem a base desse ecossistema. Além dessas entidades a Figura 20 também destaca a sequência de procedimentos desde a entrada de um novo objeto no ambiente até a sua possível indicação para compor um círculo social com outros objetos.

O modelo proposto nesta pesquisa considera que a infraestrutura de comunicação fornece um parâmetro de *status* que é o *Received Signal Strength Indication* (RSSI), que indica a distância do dispositivo em relação ao transmissor do sinal de rede. Essa sinalização fornece informações, *e.g.*, sobre o grau de mobilidade do objeto e a intensidade do sinal recebido pelo equipamento. Isso impacta na avaliação do serviço prestado e no atendimento de uma requisição.

Além disso, a identificação do padrão de tráfego gerado por cada dispositivo também é uma informação importante no contexto da comunicação, pois permite a aplicação de penalidades aos objetos causadores de alguma perturbação no ambiente, ou a detecção de anomalias no comportamento de um objeto. Contudo, para lidar com esses parâmetros e alinhar o objeto às políticas e regras de gestão dos relacionamentos, se faz necessário a adaptação dos dispositivos existentes no mercado às condicionantes do modelo proposto. Nesse sentido, a virtualização dos objetos pode facilitar essa adaptação, conforme detalhado na Seção 4.3.

### 4.3 Virtualização do Objeto

Atualmente, os ambientes já possuem uma gama de dispositivos heterogêneos. Assim sendo, com o intuito de viabilizar a fluidez na comunicação e, consequentemente, as interações na troca de serviços ou informações, uma alternativa proposta neste trabalho é a virtualização dos dispositivos inteligentes por intermédio de um *middleware*. Esse dispositivo central mantém as habilidades, as restrições e a qualificação pertencentes a um objeto.

A autenticação de cada objeto físico dentro de seu par virtualizado correspondente é realizada por meio do uso de identificação atômica, que normalmente inclui o endereço *Media Access Control* (MAC) – em português controle de acesso ao meio – combinado com a identificação virtual do objeto dentro do sistema. Essa combinação resulta em valores imutáveis e exclusivos, garantindo um processo de autenticação robusto.

Além disso, o Objeto Virtual mantém uma lista abrangente de serviços ofertados à comunidade, bem como as tarefas que normalmente solicita dentro do ambiente. Essa identificação de nível duplo não apenas aumenta a segurança, mas também desempenha um papel crucial na manutenção da integridade do sistema.

Mesmo nos casos em que um objeto impostor tenta clonar a identificação, o sis-

tema pode bloqueá-lo, temporariamente, com base no comportamento esperado para o objeto original, considerando seu histórico de interações e a sua lista de serviços. Assim, as atividades de tal impostor ou qualquer potencial comportamento malicioso são rigorosamente restritos e detectáveis pelo gerenciador do ambiente. Esse mecanismo de autenticação robusto garante a confiabilidade dos objetos e protege contra acesso não autorizado ou atividades fraudulentas no ambiente.

Como particularidades adicionais vinculadas ao objeto no estabelecimento das relações sociais, algumas restrições merecem atenção, conforme destacado a seguir:

- número de solicitações simultâneas processadas;
- volume de amizades estabelecidas em uma comunidade;
- nível de confiança exigido para os relacionamentos com os demais objetos;
- precisão das informações fornecidas e exatidão das respostas;
- quantidade de solicitações atendidas na comunidade.

Considerando as restrições elencadas, a compatibilização dos objetos já existentes com a abordagem proposta de gerenciamento das relações sociais ocorre por meio do mapeamento de cada objeto físico em seu correspondente virtual. Logo, as restrições apontadas para cada dispositivo do cenário são previamente registradas pelo proprietário do dispositivo, e somente então as interações têm início no ambiente da Social IoT.

Uma peça-chave nesse ambiente é o *middleware*, o qual articula as relações entre os objetos, visando o sucesso das requisições por serviços ou informações, a distribuição das atividades e a manutenção da confiança entre os partícipes dessa comunidade. Devido à centralidade inerente ao *middleware*, ele também é responsável pela indicação de objetos novos à composição do círculo social, baseado nos serviços prestados e na qualificação realizada pelos pares.

Nesse cenário, para permitir a definição, tanto das restrições quanto das habilidades de cada objeto, uma interface de software permite ao proprietário – do inglês *owner* – a descrição das principais características desse dispositivo computacional. A Figura 21 traz o diagrama de sequência considerando as interações necessárias para a criação do objeto físico no ambiente virtualizado. O apontamento destas definições vinculadas ao objeto visa a ciência do *middleware* e a promoção das colaborações no ambiente inteligente.

O registro de um novo objeto é inicialmente validado para evitar duplicidade ou exclusão do histórico das operações realizadas. Essa lista também relaciona os objetos banidos do ambiente, impedindo o reingresso indesejado. Logo após essas validações

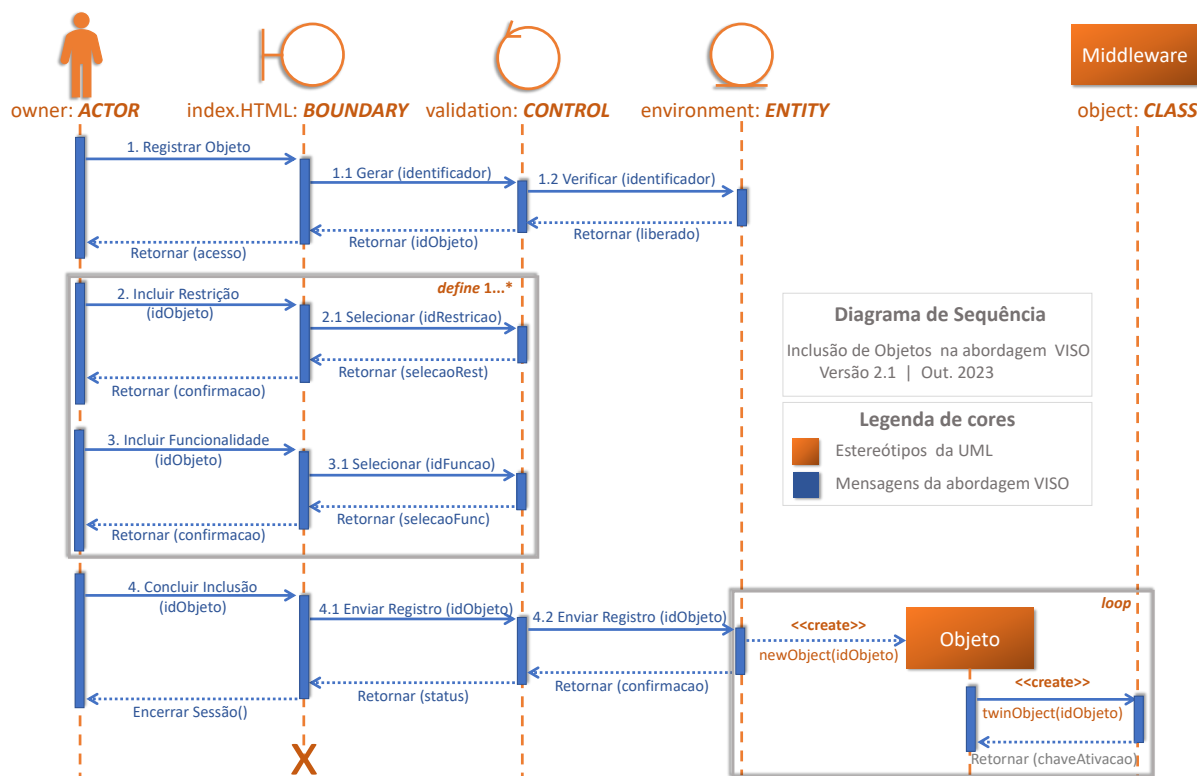


Figura 21 – Diagrama de sequência para virtualização de um objeto

iniciais, então uma chave de acesso é gerada, o que permite a inserção de características operacionais – as restrições e as habilidades vinculadas ao objeto – conforme estipulado pelo seu proprietário.

O proprietário deve especificar pelo menos uma restrição e uma habilidade vinculadas ao objeto, mas com liberdade para realizar quantas inserções forem necessárias. Essas características operacionais estão parametrizadas, ou seja, previamente definidas pelo gestor do ambiente, evitando assim eventuais inconsistências.

Na etapa final de virtualização, ocorre o envio de uma matriz de dados contendo todos os valores vinculados ao objeto. Essa matriz é integralmente inserida na base de dados, contendo o conjunto de pares chave-valor que constituem o documento desse objeto. Até este ponto as atividades são síncronas, ou seja, há execução sequencial das ações, ou seja, o passo seguinte ocorre apenas quando finalizado o anterior. Em paralelo, o *middleware* fica recorrentemente buscando atualizações nessa base de dados, seja pela inserção de novos dispositivos, seja pelo ajuste em características operacionais vinculadas a um objeto já conhecido.

Quando identificado pelo *middleware* o registro de um novo objeto na base de dados, somente então o objeto está efetivamente virtualizado no ambiente - inspirado no conceito de *Digital Twin* ou gêmeo digital, em português. Na prática, isso representa a criação de uma réplica virtual/digital de um objeto físico contendo algumas características úteis ao ambiente. Assim sendo, permite clonar recursos e funcionalidades dis-

poníveis neste objeto, além de estender o seu comportamento tradicional com novas capacidades obtidas através do compartilhamento de habilidades com outros objetos.

O conceito de gêmeo digital, quando implantado na borda de soluções IoT, representa um novo elemento estratégico para projetar aplicativos ciberfísicos distribuídos dotados de objetos, os quais efetivamente cooperam, habilitando serviços e melhorias no controle e na tomada de decisões no ambiente (PICONE; MAMEI; ZAMBONELLI, 2022). Além disso, o surgimento do gêmeo digital oferece uma oportunidade para acelerar o desenvolvimento de objetos, eliminando a validação física em direção à validação digital segundo os requisitos do espaço virtual, algo mais lógico na era das coisas inteligentes (NASIRAHMADI; HENSEL, 2022).

Neste contexto, o modelo digital fornece todas as perspectivas relevantes da existência do objeto no ambiente. Esse modelo facilita a implementação de mudanças estruturais ou das políticas de relacionamento, entregando maior transparência ao papel de controle exercido normalmente pelo *middleware*.

Uma vez criado o objeto através da interface de gerenciamento caracterizada na Figura 22, ele passa a interagir no ambiente atendendo às requisições do *middleware*. A interface também permite a análise da qualidade do sinal em cada dispositivo, o volume de interações, eventuais falhas nas requisições, os objetos momentaneamente inativos e outras informações úteis ao administrador do ambiente.

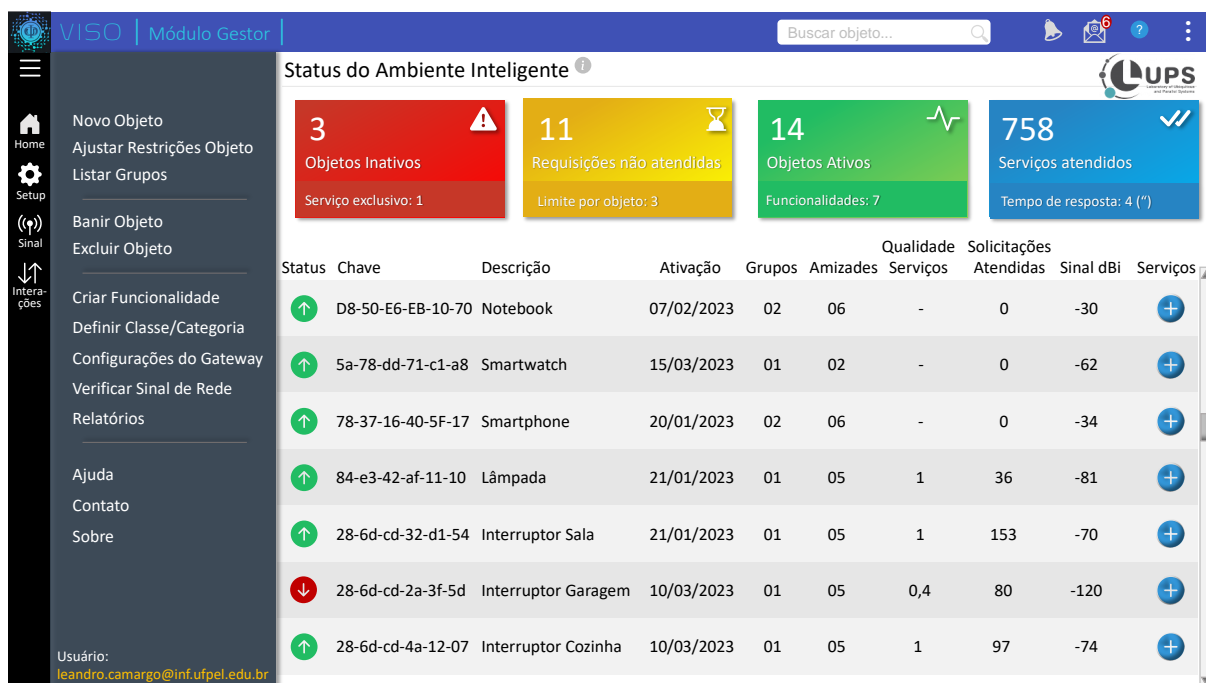


Figura 22 – Interface para controle do ambiente inteligente

As funcionalidades oferecidas pelos objetos são parametrizadas pelo gestor do ambiente inteligente, facilitando o registro dos novos dispositivos com perfis equivalentes. Essa característica operacional ocorre graças à implementação do conceito de

classes ou categorias de objetos, os quais são agrupados pela presença de aspectos comuns aos demais. Assim, é possível herdar as configurações dos pares. Com isso, há uma redução na complexidade das entradas de informações e, conseqüentemente, na geração de falhas cadastrais do perfil de um novo objeto.

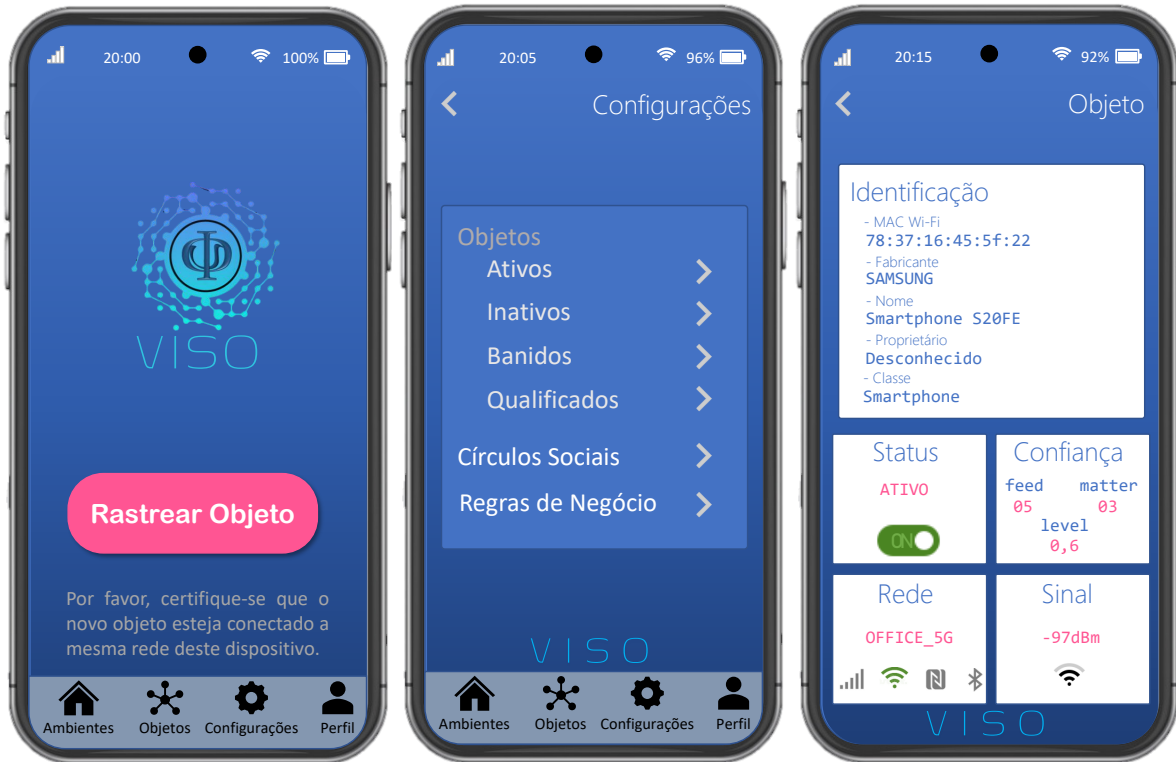
Na interface de controle, também é possível excluir objetos que mudaram de proprietário, ou ainda, banir um determinado dispositivo causador de alguma instabilidade na rede de forma proposital. Esse controle pode contribuir para a proteção do sistema contra reingressos indesejados ou o estabelecimento de novas relações sociais com objetos que tenham registros de comportamento malicioso. O histórico desses apontamentos fica armazenado na base de dados, a qual é verificada frequentemente pelo *middleware*, no intuito de identificar a inserção de novos objetos ou a atualização operacional dos já existentes, isso abrange desde funcionalidades adicionais até a desativação de um objeto banido.

Para além de uma interface de controle que serve ao gestor do ambiente, há outra aplicação voltada especificamente aos proprietários dos objetos, Figura 23 e Figura 24. Nessa aplicação, o proprietário pode rastrear um novo objeto inserido localmente, Figura 23(a), uma funcionalidade que comunica com as principais *Application Interface Programmings* (APIs) dos fabricantes de dispositivos IoT, acessando a partir da nuvem dos fabricantes as informações básicas do objeto. A API, para contextualizar, trata de um conjunto de definições e protocolos para mediação no desenvolvimento e na integração de aplicações.

O proprietário do objeto também pode consultar informações gerais do ambiente (ver Figura 23(b)), tais como: (i) a listagem de objetos ativos no ambiente; (ii) aqueles objetos que estão inativos em determinado momento, pela falta de energia, por falha de comunicação ou pela ausência momentânea; (iii) os objetos banidos pelo gestor do ambiente, e; (iv) o ranqueamento dos objetos, conforme a qualificação atribuída pelos pares. Além disso, pode obter informações específicas do ambiente inteligente, como os círculos sociais constituídos, os objetos partícipes de um grupo e as regras de negócio definidas para as interações no local.

A Figura 23(c) permite conferir a situação atualizada de um determinado objeto em relação ao seu nível de confiança no ambiente, o seu *status* de atividade, a identificação da rede à qual ele está conectado, a intensidade do sinal percebido na interface de comunicação e outros atributos básicos de identificação desse dispositivo.

Na Figura 24 são detalhadas algumas características atribuídas pelo proprietário ao seu objeto. Já a Figura 24(a) destaca as informações gerais do objeto e a possibilidade do proprietário associá-lo a uma classe com características funcionais e operacionais similares. Dessa maneira, o próximo passo compreende a definição das habilidades (ver Figura 24(b)), entendendo por habilidades aquelas informações ou serviços que o objeto pode oferecer ou consumir no ambiente social. Por outro lado,



(a) Rastrear Novos Objetos (b) Configurações de Objetos (c) Identificação do Objeto

Figura 23 – Conjunto de Interfaces voltadas ao proprietário de objetos inteligentes

a Figura 24(c) corresponde aquelas restrições operacionais do objeto, as quais visam preservar suas características operacionais e funcionais, consequentemente, ampliando a permanência com o *status* ativo nesse local.

A inclusão de objetos de forma recorrente no ambiente, contendo uma gama de definições operacionais, eleva a complexidade do gerenciamento das amizades e conduz ao problema de pesquisa abordado neste estudo, que é: “Como realizar a gestão dinâmica dos relacionamentos estabelecidos entre objetos?”.

Em resposta a essa pergunta, a Seção 4.4 destaca dois conceitos considerados a base da solução proposta, o Objeto Virtual e o Círculo Social. A Seção 4.5 propõe uma forma alternativa de organização dos objetos em comunidades. Já a Seção 4.6 apresenta alguns métodos utilizados na classificação das amizades em ambientes inteligentes da SIoT. Ao final, é oferecida uma sumarização, que compara as características de cada método, evidenciando as potencialidades e as fragilidades identificadas para a gestão dos relacionamentos entre objetos.

## 4.4 Modelagem das Entidades Chave

O foco deste estudo se dá nos objetos e na possibilidade de estabelecerem relações. Assim sendo, a Figura 25 traz a modelagem de atividades envolvendo o Objeto



(a) Definição da classe      (b) Atribuição das Habilidades      (c) Restrições do Objeto

Figura 24 – Configurações iniciais do objeto no ambiente

Virtual e mapeia o fluxo de interações para o ingresso do objeto em um determinado Círculo Social. A notação utilizada para esta modelagem conceitual do sistema segue as definições da metodologia *Structure Analysis and Design Techniques* (SADT).

O SADT oferece uma perspectiva com maior abstração na concepção de um modelo conceitual, pois utiliza uma abordagem semiformal e estruturada para a elicitación dos requisitos do sistema (ROBINSON, 2020). Como tal, esse método é mais recomendado nas fases iniciais de concepção da solução, permitindo uma visão geral do sistema e o refinamento estrutural de problemas, o que proporciona maior flexibilidade ao longo do processo de desenvolvimento.

Na modelagem da entidade Objeto Virtual (OV), a ação é iniciada com o recebimento de uma requisição de serviço encaminhada no ambiente inteligente através do *middleware*. Esse dispositivo faz a mediação das interações entre os objetos, avaliando o mais apto a responder a uma requisição em tempo adequado, considerando as restrições do objeto e sua situação na rede. A saída gerada por essa entidade é um serviço prestado ou a informação que será entregue ao requerente da ação.

Já na modelagem da ação de composição do Círculo Social, a entrada é um objeto qualificado positivamente na avaliação dos pares, e a saída é uma indicação de amizade, ou seja, a inserção na comunidade. Os consumíveis para essa ação de composição do Círculo Social são principalmente o histórico de avaliações realizadas

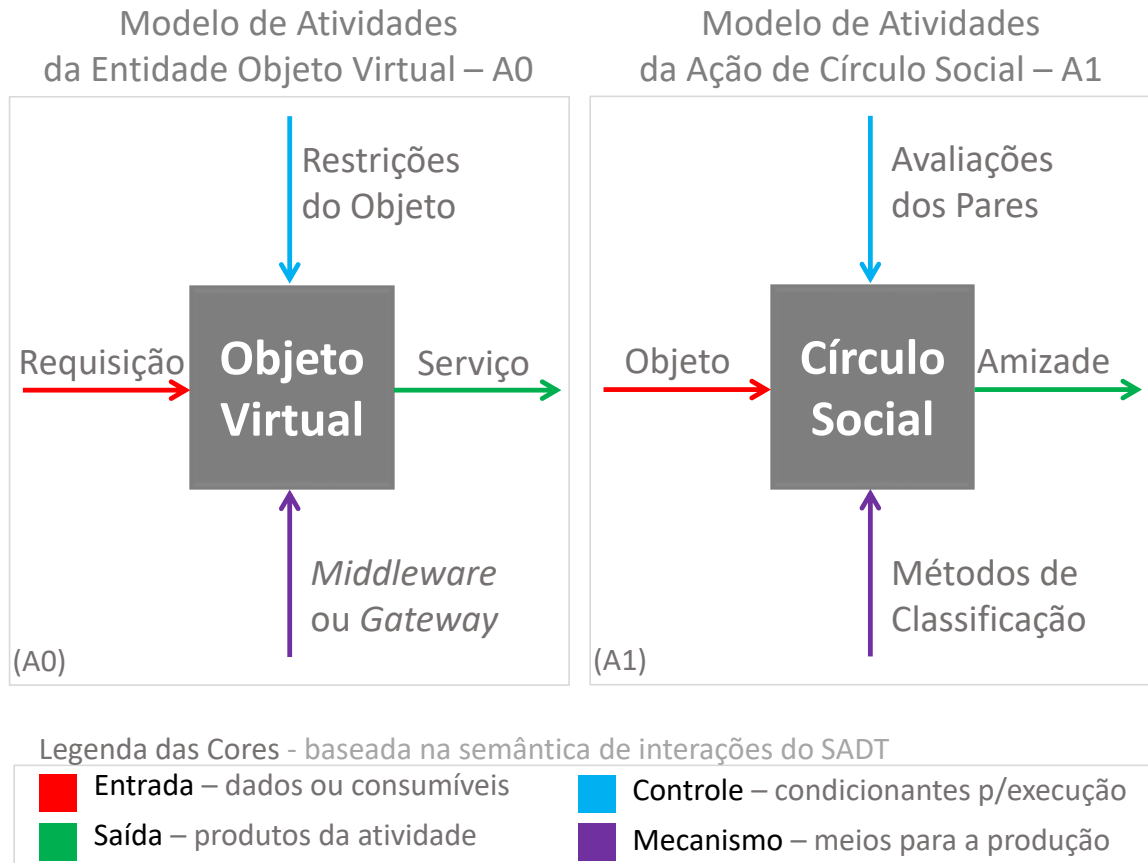


Figura 25 – Modelagem das atividade referentes ao Objeto e ao Círculo Social, na notação SADT

pelos pares, as restrições desse objeto para o volume de amizades, o limite de participação em comunidades, a qualificação mínima exigida dos partícipes desse grupo e, por fim, os interesses em comum.

A Seção 4.5 discute a metodologia incorporada a VISO para contribuir com a formação de comunidades no ambiente da Social IoT. Essa metodologia fortalece os papéis desempenhados pelos objetos no processo interativo, dessa forma, aprimorando assim o fluxo das informações e o sucesso dessas interações no ambiente.

## 4.5 Método para Formação de Comunidades

Inicialmente, com vistas à composição das comunidades, buscou-se inspiração nas relações humanas para estabelecer uma correlação com o que poderia ser mapeado nas interações entre objetos. Contudo, o processo natural de socialização humana é complexo e carregado de contextos subjetivos, como será discutido a seguir.

A socialização entre pessoas ocorre mediante um processo interativo que afeta os tipos de relacionamentos estabelecidos. Esse sistema é constituído, principalmente, por três papéis – (i) um indivíduo com suas necessidades, valores e buscas; (ii) uma sociedade com seus padrões, regras, *status* e papéis, e; (iii) a cultura com suas tradi-

ções, símbolos, sinais e rituais (PREUSS; PEREVOZKINA, 2020).

A alternativa, nessa perspectiva, é explorar um novo caminho, fugindo da subjetividade das relações naturais e analisando um cenário mais controlado e estruturado. Assim como ocorre no ambiente corporativo, onde as interações possuem critérios, a socialização entre objetos inteligentes também pode se valer desses princípios para aprimorar as interações e, conseqüentemente, a fluidez na troca de informações.

Como resultado dessa busca de inspiração para a criação de uma nova abordagem voltada à organização social dos objetos, observou-se que a metodologia *Organizational Network Analysis* (ONA) – em português análise de rede organizacional – permite o mapeamento das relações formais e informais. Além disso, a ONA também evidencia alguns padrões de colaboração entre funcionários, departamentos ou unidades de negócios.

A abordagem da ONA proporciona a aplicação de um conjunto de métodos científicos e teorias que auxiliam no entendimento das interações em uma instituição. Da mesma forma, também pode subsidiar a estruturação de outros cenários, como as interações entre objetos na Social IoT.

A ONA difere das estatísticas tradicionais e dos métodos de análise de dados fundamentalmente pela inclusão de informações sobre a socialização dos indivíduos. As relações, nesse campo, ditam o comportamento de uma entidade específica, influenciando as demais por meio de uma estrutura comportamental, econômica, política ou social (HAEMERS, 2021).

As informações de socialização e composição dos perfis permite traçar um paralelo entre o ambiente corporativo e o das coisas inteligentes. Neste sentido, entende-se como nó central o *middleware*, *gateway*, ou um dispositivo dotado com várias habilidades e funcionalidades, que está ciente das características dos objetos que interagem com ele. O nó disseminador é composto geralmente por dispositivos com maior poder computacional e capacidade de mobilidade dentro do ambiente. Já o nó periférico agrupa os objetos com baixa qualificação, decorrente de pouca interação no ambiente, motivada por alguma restrição funcional ou até mesmo pelas definições de seu proprietário.

No contexto apresentado, a estrutura social promovida pela ONA tem potencial de contribuição na organização dos ambientes inteligentes. A metodologia implementada na análise de rede organizacional é complementada pela classificação das amizades, cujo método proposto é o foco das discussões apresentadas na Seção 4.6.

## 4.6 Método de Classificação das Relações

O ponto de partida na definição dos papéis de cada Objeto Virtual dentro da comunidade a qual está inserido, se dá com a análise das conexões estabelecidas entre os

partícipes da rede. Neste sentido, as variáveis de relacionamento consideradas nesta análise de rede social – do inglês *Social Network Analysis* (SNA) – baseiam-se em estudo similar aplicado no mapeamento das relações humanas (ARANGO-PATERNINA et al., 2022). As dimensões observadas naquele estudo estão adaptadas ao contexto da Social IoT, conforme descrito:

- Densidade: refere-se ao total de interações na rede;
- Membro de grupo: indica a lista de objetos que participam da junção de tríades;
- Centralidade: representa o máximo de conexões estabelecidas por um único dispositivo;
- Popularidade: mede a quantidade de requisições recebidas por um objeto;
- Engajamento: avalia o volume de requisições respondidas pelo objeto;
- Tamanho da rede: corresponde ao total de dispositivos ativos na rede;

A Figura 26 ilustra um cenário de rede de objetos que permite a identificação das variáveis mencionadas para a classificação das relações. Além disso, a figura também aborda a composição de tríades e a formação dos grupos.

### Método para organização das amizades

Formação de Grupos e Tríades de objetos

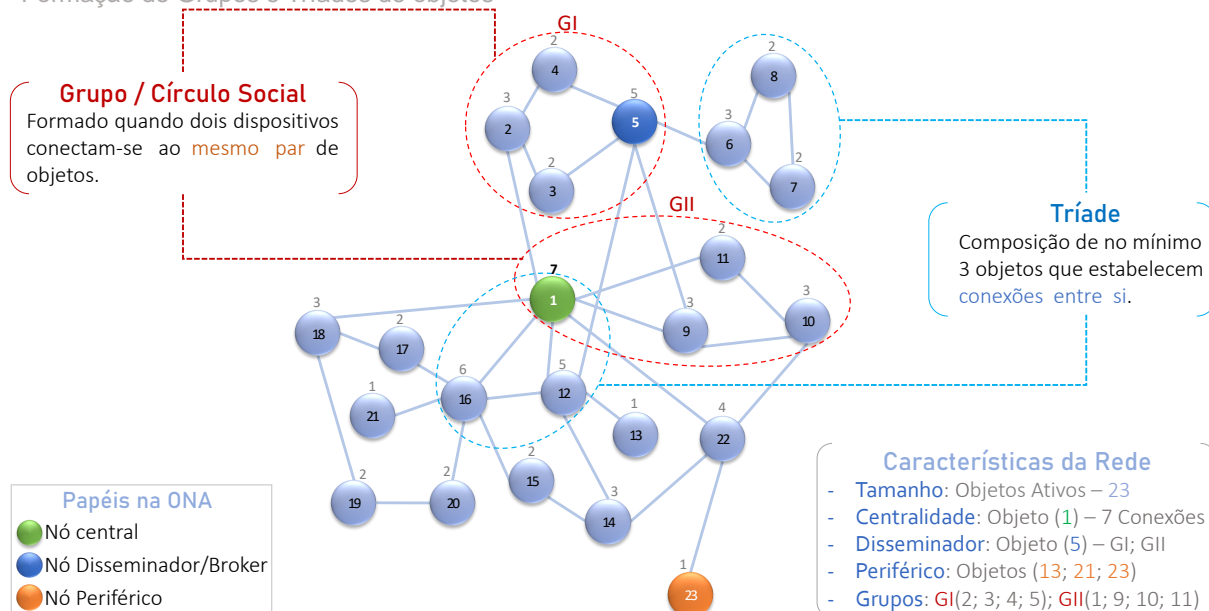


Figura 26 – Método para organização das relações entre os objetos

Uma tríade representa a composição contendo ao menos três objetos, os quais estabelecem conexões entre si para a troca de informações. Já o grupo – que no contexto deste trabalho equivale ao conceito de círculo social – forma-se quando um

dispositivo está vinculado ao mesmo par de relacionamentos de outro objeto. Cabe destacar que a inserção de um dispositivo no círculo social fica condicionada as regras de negócio e outras restrições definidas pelo proprietário ou gestor de um determinado ambiente inteligente.

O propósito fundamental da organização das relações em grupos está na possibilidade de melhoria na confiança, bem como no estímulo para novas conexões, as quais são estabelecidas, também, em razão das indicações realizadas entre amigos. A estrutura de círculo social aproxima dispositivos com dependência de serviços ou informações que são complementares às suas funcionalidades, reduz o tráfego na rede e torna os encaminhamentos de requisições mais assertivos.

A Seção 4.7 incorpora aspectos qualitativos aos relacionamentos constituídos em ambientes da Social IoT. Para tal, é proposto um mecanismo de classificação da importância do objeto nas relações firmadas, extraíndo nodos de alta qualidade de uma rede complexa, com isso, permite a avaliação das conexões firmadas entre os dispositivos.

## 4.7 Método de Recomendação e de Socialização

No ambiente inteligente da Social IoT, uma vez mapeadas as relações estabelecidas entre os objetos, é fundamental o entendimento da relevância de cada dispositivo para o correto dimensionamento da rede. Neste sentido, a *Link Analysis* (LA) – em português análise de ligações – oferece um arcabouço de soluções voltadas a classificação das conexões mais significativas, isso a torna uma técnica reconhecida pela eficácia em ciência de dados, especialmente na exploração dos relacionamentos de objetos (SHI, 2022).

O algoritmo de PR é amplamente utilizado na LA, pois adota abordagens de recomendação genéricas para a classificação de uma grande quantidade de conteúdo disponível na web, com base no conceito de co-citação. O algoritmo PR, embora baseado nos esforços bibliométricos para análise da influência da pesquisa em termos de citações, estendeu essa ideia para incorporar a visibilidade e autoridade do artigo, considerando o número de citações e o prestígio dos artigos que o citam (BRIN; PAGE, 1998).

O PR é um grafo direcionado simples, ou seja, sem laços – vértices apontando para si – e também, sem arestas múltiplas – ligações direcionais entre vértices, em duplicidade. Nesta notação, o Vértice/Nodo ( $v$ ) está associado a cada objeto do ambiente inteligente, por sua vez, as arestas indicam as interações entre os dispositivos.

O PR determina o peso de cada vértice, o que indica a relevância do objeto no ambiente, com base nas informações fornecidas pelos seus pares. Esse valor de ranqueamento é obtido de forma recursiva, levando em consideração a importância

dos dispositivos que estão conectados ao objeto em análise. O PR considera tanto o valor de ranqueamento quanto o número de conexões de saída das amizades de um objeto. Quanto menor o número de conexões externas de um dispositivo amigo, maior será o peso transferido para esse relacionamento.

O valor de inicialização dos vértices demonstrados na Equação 2, também chamado de partida a frio, ocorre apenas em Tempo/iteração ( $t$ ) zero -  $t = 0$  -, sendo atribuído da seguinte maneira (BRIN; PAGE, 1998):

$$PR_{(v,0)} = \frac{1}{n} \quad (2)$$

O valor de partida é dado, neste cenário, pelo peso 1 - um, o qual é distribuído proporcionalmente entre os objetos participantes do ambiente, indicado por: Número total de vértices/dispositivos ativos ( $n$ ). Assim, conforme destacado na Figura 27, logo após a inicialização no tempo zero, todos os objetos têm a mesma relevância ou peso, para redistribuição nas demais iterações, levando em consideração o número de ligações do Vértice/Nodo ( $v$ ).

O valor efetivo de cada vértice é obtido através da Equação 3, observando as conexões ou *links* recebidos pelo objeto e os respectivos ranqueamentos dos seus amigos, no tempo anterior ( $t - 1$ ) (BRIN; PAGE, 1998). Conforme formalizado:

$$PR_{(v,t)} = \sum_{v' \in \mathcal{C}(v)} \frac{PR_{(v',t-1)}}{n^{o}links(v')} \quad (3)$$

O PR é o somatório de todos os vértices que apontam para o objeto alvo, considerando o peso de cada um deles no tempo anterior ao da iteração. Tal valor é proporcional ao número de *links* originados dos dispositivos que se relacionam com este objeto.

Na Figura 27 é destacado um exemplo simplificado da inicialização dos vértices no tempo zero  $t = 0$  e a atualização do peso após a primeira iteração. Nesta simulação, o vértice *A* recebe mais conexões e, conseqüentemente, possui maior relevância. Por outro lado, o vértice *C* é menos importante no ambiente, pois é referenciado por apenas um objeto e recebe pouco valor, já que o peso é distribuído com outras interações daquele objeto.

De forma complementar ao cálculo do PR, considerando a sua aplicação em um ambiente da Social IoT, o modelo proposto nesta tese incorpora na equação original o nível de confiança nas interações de um objeto, detalhada anteriormente na Equação 1. Assim sendo, a Equação 4 acresce a confiança direta - *Direct Trust* ( $D$ ), conforme detalhado:

$$PR_{(v,t)} = \frac{1 - D_{(v)}}{n} + D \times \sum_{v' \in \mathcal{C}(v)} \frac{PR_{(v',t-1)}}{n^{o}links(v')} \quad (4)$$

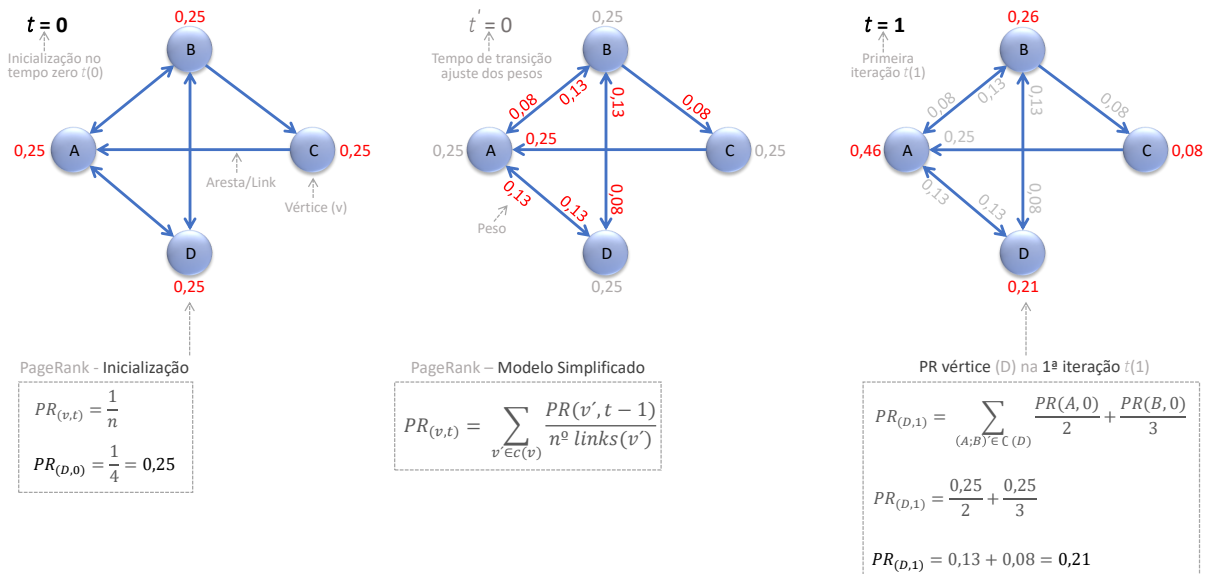
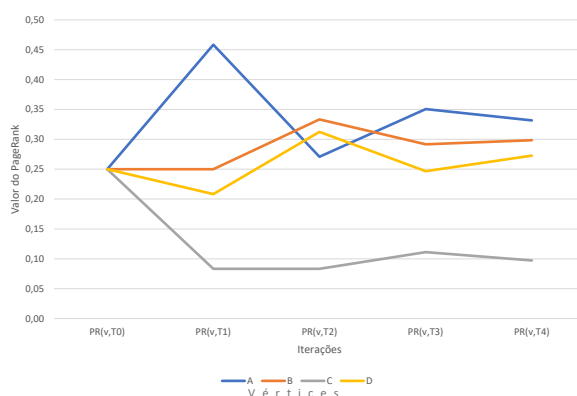


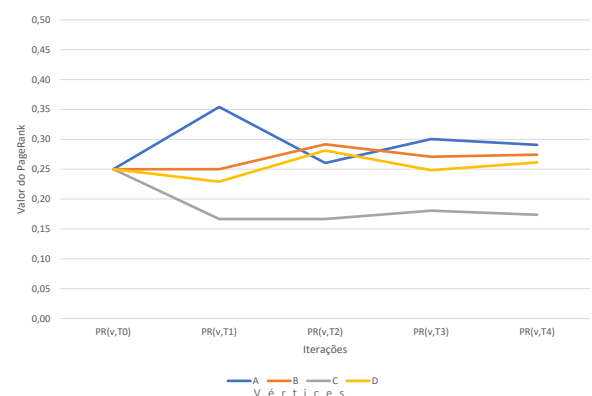
Figura 27 – Simulação do cálculo de peso do vértice adotando o PR

Devido a inclusão da confiança direta foram geradas algumas iterações que permitem a observação do comportamento gráfico das variações nos valores atribuídos a cada vértice. A Figura 28(a) destaca os resultados de uma simulação adotando a Equação 3, uma versão simplificada do PageRank (PR). Já a Figura 28(b), incorpora na qualificação dos objetos a sua confiança, conforme a percepção dos pares.

Na Figura 28 os quatro objetos ou vértices – A, B, C e D – estão enfatizados nos gráficos pelas respectivas cores de identificação. Ambas representações seguem a mesma escala e suas verticais retratam o valor de PR em cada iteração ou tempo de execução.



(a) Equação Original do PageRank



(b) Equação adaptada do PageRank

Figura 28 – Comparação dos valores de PageRank gerados pelas Equações 3 e 4

Nesta simulação, os valores de *Direct Trust* (D) estão definidos em 50% para todos os objetos. Percebe-se nos gráficos que os valores seguem a mesma tendência nas quatro iterações, sem distorções em nenhum tempo. Outro aspecto destacado na

Figura 28(b) é a normalização causada pelo indicador de confiança, visto que as linhas estão mais próximas entre si.

O algoritmo PageRank (PR) contribui para a gestão dinâmica dos relacionamentos entre os objetos, identificando as conexões mais significativas e facilitando a organização das comunidades de interesse na Social IoT. Assim, as indicações mais relevantes são priorizadas na apresentação aos novos objetos, potencializando interações com maior sucesso. Devido ao PR atribuir um valor inicial equânime aos vértices, isso também viabiliza que todos tenham oportunidades de indicação.

#### 4.7.1 Implementação do Mecanismo de Recomendação de Amizades

O pseudocódigo do mecanismo de recomendação de amigos é detalhado no Algoritmo 1, apresentando as principais funções implementadas, tais como: (i) a contagem dos objetos ativos no ambiente; (ii) o peso atualizado das arestas após uma iteração de ajuste do PR, e; (iii) o valor de PR para cada vértice. Este algoritmo recebe como entrada os vértices, os quais representam os objetos ativos em um ecossistema. Já quanto a saída gerada, cada dispositivo é ranqueado conforme a relevância das suas interações, tal classificação está baseada na confiança e na qualificação apontada pelos requerentes de cada serviço.

A Função *ObjetosAtivos* percorre todo o ambiente virtualizado identificando a lista de objetos ativos. A Função *AtualizaAresta* passa apenas pelos *links* ou ligações que partem de um determinado vértice. Já a Função *CalculaPageRank* quando ocorre no tempo zero  $t = 0$ , perpassa todos os vértices atribuindo de forma equânime os pesos deles, senão, em qualquer outro tempo ou iteração é aplicada a equação atualizada do PR, conforme o número de ligações que apontam para um vértice.

Uma característica relevante da implementação esboçada no Algoritmo 1 diz respeito à execução, a qual prioriza funções assíncronas, ou seja, que permitem execução em *background*, que em português significa segundo plano. Sendo assim, as funcionalidades do sistema são executadas enquanto o ambiente mantém ativo o fluxo dos serviços e requisições. A Função *ObjetosAtivos* é a única de execução síncrona, pois a saída gerada consiste na contagem de todos os dispositivos com situação ativa no ambiente em um determinado tempo.

Com vistas à redução do tempo computacional demandado no cálculo da relevância de cada dispositivo no ambiente, algumas variáveis integram os atributos pertencentes a Classe Objeto, tais como:

- Objeto.PRAtual: último valor atualizado para o PageRank do dispositivo;
- Objeto.PRAnterior: importância do vértice na iteração anterior ( $t - 1$ );
- Objeto.Confianca: indica a confiança direta atribuída pelos pares ao objeto;

---

**Algorithm 1: Mecanismo de Recomendação - Principais Funções**


---

```

Input: Vertice
Output: PageRank (Objeto.Id)
Data: Objeto set Vertice

/* Contagem de vértices - objetos ativos no ambiente | retorna valor inteiro */
1 Function ObjetosAtivos() int ativos:
2   ativos = 0;
3   while Objeto.Id != Empty do
4     if Objeto.Status == 1 then
5       ativos = ativos + 1;                                // contador de objetos ativos
6   return ativos
7
/* Atualiza o peso das arestas - links, em cada relacionamento de um vértice */
8 Function AtualizaAresta(Objeto.Id):
9   pesoAresta = Objeto.PRAnterior / Objeto.Link; // Atualiza peso da aresta
10  Objeto = Objeto.Id;
11  for i = 0; i < Objeto.Link do
12    Objeto.Amigo(i) = pesoAresta;                // Atualiza peso no vetor de amigos
13  return status
14
/* Calcula o PageRank (tempo zero ou demais iterações) Atualiza peso arestas */
15 Function CalculaPageRank(Tempo):
16   n = ObjetosAtivos();
17   if Tempo == 0 then
18     peso = 1 / n;                                // Distribui peso igual a todos vértices
19     for i = 0; i < n do
20       Objeto = Objeto.Id(i);
21       Objeto.PRAtual = peso;                        // Atribui PR igual aos vértices
22       Objeto.PRAnterior = peso;
23       AtualizaAresta(Objeto);
24   else
25     for i = 0; i < n do
26       Objeto = Objeto.Id(i);
27       Objeto.PRAnterior = Objeto.PRAtual; // PR no tempo anterior (t-1)
28       Objeto.PRAtual = 0;
29       D = Objeto.Confianca;
30       for j = 0; j < Objeto.Link do
31         v(j) = Objeto.Amigo(j); // Percorre vértices do conjunto-amigos
32         Objeto.PRAtual +=  $\frac{1-D}{n} + D * \sum_{v(j) \in C(Objeto)} \frac{PR_{(v.Anterior(j))}}{v.Link(j)}$ ;
33         AtualizaAresta(Objeto);                // Atualiza o peso das arestas
34   return status
35

```

---

- Objeto.Amigo: vetor de vértices que apontam – requerem serviços – do objeto;
- Objeto.Link: total de ligações ou relações que o objeto estabelece;
- Objeto.Status: indicador de atividade - 0 inativo; 1 ativo;
- Objeto.Id: identidade atômica do dispositivo no ambiente.

O Algoritmo 1 traduz a integração das metodologias elencadas neste estudo, as quais têm potencial aptidão à organização estrutural e podem contribuir em ambientes da Social IoT. Neste viés, a abordagem de recomendação das amizades está baseada no ranqueamento dos vértices – objetos ativos – que são indicados aos novos dispositivos inseridos no ambiente. Assim, aqueles objetos com maior interação são destacados e tratados como nodos centrais ou como disseminadores de informações, isso depende das relações estabelecidas com outros grupos.

Para além do ranqueamento dos objetos mais importantes no ambiente, também é uma contribuição promovida por esta abordagem, a composição dos grupos ou círculos sociais destes dispositivos conectados entre si. Como os objetos dentro da mesma comunidade possuem interesses comuns, os serviços oferecidos por eles tendem a ser mais relevantes nestes grupos.

A lógica por trás da composição do agrupamento de objetos dentro da mesma comunidade socialmente conectada, está no potencial para recomendações de serviços ou amizades socialmente conscientes, bem como personalizadas, com base nos interesses do grupo. Há um aumento na similaridade e na confiabilidade dentro do círculo social dos dispositivos, motivado, principalmente, pelo relacionamento ativo entre eles, isso reflete também na estabilidade da rede e no fluxo de requisições atendidas.

A organização do ambiente inteligente contribui, ainda, com a redução de operações dependentes do *middleware*, o reenvio de requisições, a otimização no tempo das respostas, entre outros avanços. Portanto, a estruturação proposta, permite um monitoramento adequado dos dispositivos e demais recursos presentes na rede da Social IoT, algo desejável à medida que um número crescente de objetos são integrados a este ecossistema.

De forma complementar a esta organização do ambiente, a Subseção 4.7.2 detalha alguns descritores específicos de cada objeto. Tais descritores são metadados necessários ao aprimoramento das relações e do fluxo de comunicação local.

#### **4.7.2 Demanda de Dados para a Virtualização do Objeto**

A Figura 29 destaca metadados básicos de cada objeto que integra o ambiente inteligente, categorizados como: (i) o descritor do objeto; (ii) o perfil de interação do objeto no ambiente; (iii) o tipo de acesso ao objeto, e; (iv) a localização ou indicador de mobilidade do objeto.

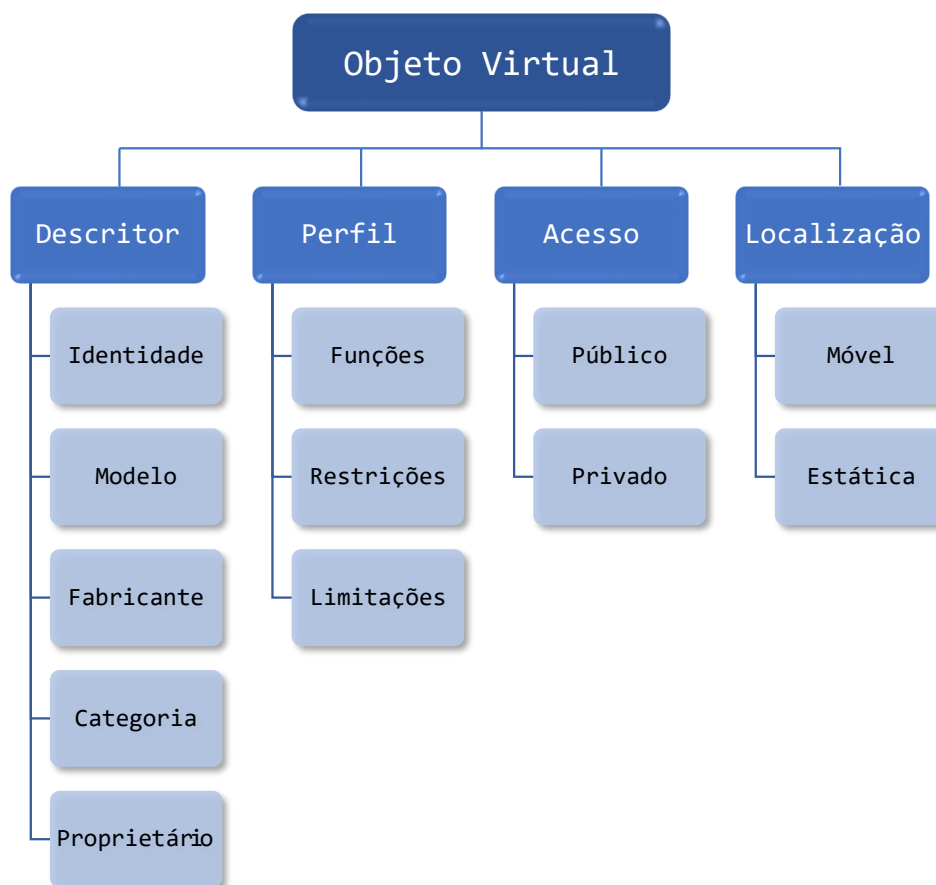


Figura 29 – Taxonomia dos dados vinculados a cada Objeto Virtual na Social IoT

Estes dados integram os parâmetros registrados pelo gestor do ambiente no momento da criação de um Objeto Virtual (OV). Os dados associados ao objeto da Social IoT, normalmente, são mantidos sem alterações no decorrer do tempo. Embora, eventualmente, uma nova funcionalidade, restrição de acesso ou limitação deste dispositivo, possa sofrer alguma atualização para se ajustar ao cenário de uso, ou ainda, aos interesses do seu proprietário.

#### 4.7.3 Persistência dos Dados de Suporte à Abordagem VISO

Em uma perspectiva mais ampliada da abordagem VISO, considerando além dos objetos, também os algoritmos implementados para a classificação das amizades, a sua operacionalização, demanda um suporte adequado quanto a persistência dos dados. Neste viés, a Tabela 4 detalha a infraestrutura de dados básica para o funcionamento do ecossistema proposto. Embora existam outras entidades não especificadas na referida tabela, pois são complementares e não interferem diretamente para a classificação das amizades entre os objetos.

A Tabela 4 descreve o dicionário de dados contendo as entidades-chave e os seus atributos, além disso, tipifica o conteúdo armazenado por cada atributo e fornece uma

Tabela 4 – Detalhamento da estrutura básica demandada pela abordagem VISO para a persistência dos dados

ENTIDADE: INTERACAO		
Atributo	Tipo	Descrição
intera_Id	Int	Auto incrementado
intera_Obj_i	Int	Identificação do objeto prestador <i>Obj_i alias: obj_Id</i>
intera_Obj_j	Int	Identificação do objeto solicitante <i>Obj_j alias: obj_Id</i>
intera_Inicio	Time	Registra a data e a hora ( <i>Timestamp</i> ) de início da interação
intera_Termino	Time	Registra a data e a hora ( <i>Timestamp</i> ) de término da interação
intera_Feedback	Bool	Qualificação do serviço prestado pelo <i>Obj_i</i> observado pelo <i>Obj_j</i>
intera_Servico	Int	Identificação do serviço atendido
ENTIDADE: AMBIENTE_ONA		
Atributo	Tipo	Descrição
amb_Obj_i	Int	Identificação do objeto atendente, <i>alias: obj_Id</i>
amb_Total_Intera	Int	Total de interações no ambiente
amb_Total_Valida	Int	Total de interações válidas, com <i>feedback &gt; 0</i>
amb_Total_Nova	Int	Total de interações novas, sem as repetições
amb_Adjacency	List	Matriz de adjacência síntese dos solicitantes <i>Obj_j</i> com <i>feedback=1</i>
ENTIDADE: OBJETO		
Atributo	Tipo	Descrição
obj_Id	Int	Auto incrementado
obj_MACRede	Char	Identificação atômica vinculada a interface de comunicação
obj_Nome	Char	Descrição do objeto
obj_Proprietario	Char	Nome ou e-mail de identificação do proprietário do objeto na nuvem
obj_Modelo	Char	Modelo do objeto
obj_Marca	Char	Marca ou Fabricante do objeto
obj_Classe	Int	Identificação da classe <i>classe_Id</i> de enquadramento do objeto
obj_Funcao	List	Lista de funções importadas da <i>classe_Funcao</i> e ajustadas ao objeto
obj_Restricao	List	Lista de restrições ambientais impostas (amizade/interação/grupo)
obj_Limitacao	List	Limites do objeto conforme definição do proprietário
obj_Acesso	Int	Objeto do tipo público ou privado
obj_Localizacao	Int	Localização do objeto no ambiente - estática ou móvel
obj_Qualificacao	Int	Valor <i>Direct Trust</i> (D), baseado no <i>feedback intera_Feedback</i>
obj_Status	Int	<i>status</i> operacional: 0 - inativo; 1 - ativo; 2 - suspenso; 3 - banido
ENTIDADE: CLASSE		
Atributo	Tipo	Descrição
classe_Id	Int	Auto incrementado
classe_Nome	Char	Característica que agrupa objetos com semelhança operacional
classe_Funcao	List	Funções ou habilidades comuns aos objetos desse agrupamento
ENTIDADE: AMIZADE_PAGE RANK		
Atributo	Tipo	Descrição
rank_Id	Int	Auto incrementado
rank_Objeto	Int	Identificação do objeto atendente <i>alias: obj_Id</i>
rank_Adjacency	List	Matriz de qualificação das amizades <i>Obj_j</i> com valor da relevância

breve apresentação dele. Esta infraestrutura de dados pode ser mantida tanto no *middleware*, localmente, quanto em uma estrutura remota instanciada pelo objeto.

As características de cada entidade e dos respectivos atributos pertinentes ao modelo de dados proposto na abordagem VISO são compatíveis com estruturas de banco de dados relacionais, com também aqueles orientados a documentos. A flexibilidade quanto a presença da estrutura de armazenamento – local ou remota – e do modelo

de persistência – relacional ou documento – permite a adaptação do modelo proposto as soluções de *software* voltadas a IoT existentes no mercado, facultando sua eventual integração com a VISO.

Em particular, as entidades *Ambiente\_ONA* e *Amizade\_PageRank* armazenam valores originados a partir dos algoritmos de qualificação das interações e das amizades, respectivamente. Tais valores são atualizados a cada interação, consequentemente, o ranqueamento dos objetos mais ativos e priorizados para novas amizades é constantemente ajustado, acompanhando a dinâmica de cada ambiente inteligente.

Com relação ao dicionário de dados descrito, cabe destacar que o tipo de dado *List*, caso não seja compatível com o Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) acoplado à abordagem VISO, ainda assim, é possível compatibilizar esta estrutura por meio de algoritmos voltados à criação de listas. Tais algoritmos são amplamente difundidos na computação e implementáveis nos ambientes de programação utilizados comercialmente.

#### 4.7.4 Suporte ao acoplamento da abordagem VISO a um *Middleware*

A VISO oferece cobertura para a socialização entre objetos inteligentes, mesmo quando estes objetos são gerenciados por aplicações IoT tradicionais. Para tal, se faz necessário um acoplamento da abordagem VISO a um *middleware*, isso ocorre por intermédio da camada de persistência dos dados.

Na Tabela 4 as entidades identificadas como *Interacao* e *Amizade\_PageRank* permitem o acoplamento das aplicações IoT tradicionais ao contexto social. A primeira trata das entradas essenciais para interação com o EXEHDA, em desenvolvimento pelo grupo de pesquisa no *Laboratory of Ubiquitous and Parallel Systems* (LUPS)/UFPEl, ou com qualquer outro *middleware* IoT que pretenda incorporar as funcionalidades da abordagem VISO. Já a segunda entidade, trata da saída gerada pela VISO, cuja qual pode ser aproveitada pelo *middleware* sob diferentes perspectivas como um indicador social para o encaminhamento de requisições, e.g., ao objeto mais ativo, ao melhor classificado em uma comunidade, ao mais qualificado do ambiente, dependendo dos interesses definidos localmente.

Embora um *middleware* registre a identificação do objeto de forma nativa, outras informações são complementares e necessárias no contexto da Social IoT. Assim, a entidade *Objeto* da mesma forma precisa ser acessada para garantir a operacionalização adequada da abordagem VISO, pois além da orquestração que o *middleware* exerce no recebimento e distribuição das requisições, agora, também gerencia a qualificação do objeto após cada interação.

A Seção 4.8 consolida as características do modelo gerado neste trabalho, destacando os principais aspectos arquiteturais. Para tal, a arquitetura é apresentada, inicialmente, em um nível mais elevado de abstração facilitando a visualização de cada

elemento dentro do ecossistema proposto na abordagem VISO, gradativamente a modelagem arquitetural evolui, incluindo especificações mais técnicas de cada modelo.

## 4.8 Modelo Arquitetural da VISO

No intuito de melhor descrever as características arquiteturais da abordagem VISO a seguir são descritas três modelagens em ordem crescente de complexidade e detalhamento, a saber: (i) modelo abstrato: que organiza os elementos do nível físico ao mais virtualizado; (ii) modelo conceitual: que detalha cada conceito nos respectivos níveis arquiteturais, e; (iii) modelo funcional: que define as tecnologias, protocolos e esquemas de funcionamento da VISO. Assim sendo, os aspectos de cada modelo são descritos e justificados no decorrer das próximas subseções.

### 4.8.1 Modelo Abstrato

Como primeira abordagem discricionária da arquitetura implementada na VISO, a Figura 30 denota o modelo abstrato desta arquitetura, numa visão que começa no nível físico, na base – constituído pelos objetos da IoT – para o mais virtualizado, no topo – referente aos serviços ofertados no ambiente. No contexto deste modelo, cada objeto físico dotado com a capacidade de comunicação é mapeado com suas habilidades e restrições de socialização, como um gêmeo digital equivalente no ambiente virtual.

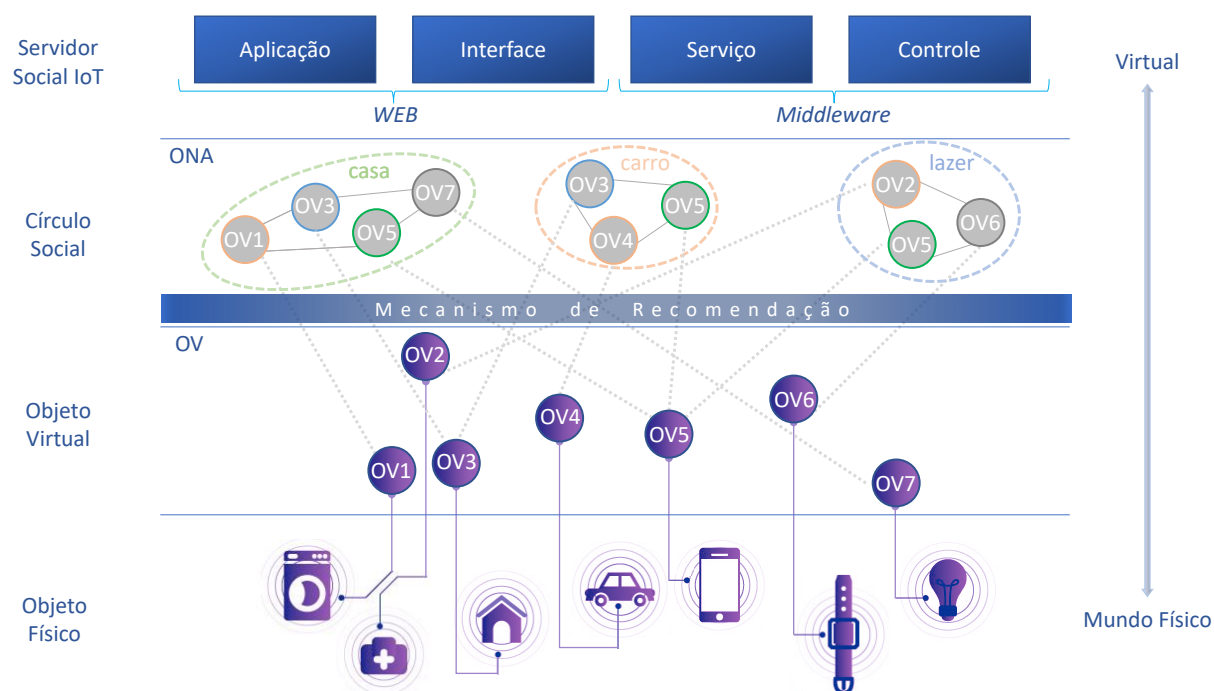


Figura 30 – Visão abstrata dos níveis de interatividade na abordagem VISO

Uma vez virtualizado o objeto - Objeto Virtual (OV), ele passa então a compartilhar suas características, havendo assim um estímulo para aproximação daqueles dispo-

sitivos que estabeleçam interações com maior frequência. Um mesmo objeto pode participar de vários círculos sociais, oferecendo serviços distintos, em alinhamento as requisições realizadas pelos pares desse grupo. Cabe destacar que não há duplicatas do objeto em cada grupo ao qual faz parte, outrossim, instâncias que carregam algumas funcionalidades demandadas. Cada instância de um objeto compartilha da mesma qualificação, *status* e restrições do seu objeto principal.

Considerando o cenário esboçado na Figura 30, o dispositivo de telefonia móvel *OV5* estabelece o maior número de conexões, logo, caracteriza-se como um nó central. Por sua vez, a casa *OV3* interage com diferentes grupos indicando uma tendência como perfil disseminador de informações.

Mesmo em uma análise superficial, levando em conta apenas o senso comum, a casa ou qualquer edificação inteligente, efetivamente abriga diversos dispositivos que interagem com este local. Da mesma forma, o *smartphone* também possui a capacidade de interação com vários dispositivos através do software nativo de cada um deles, que está normalmente instalado neste dispositivo.

Por outro lado, o perfil de dispositivo periférico cabe perfeitamente ao veículo *OV4*, devido a elevada mobilidade e baixa interatividade, visto que em muitas vezes está desligado ou, em boa parte do tempo, afastado da conexão com a rede, assim sendo, o envio de requisições para ele é pouco efetivo devido ao seu baixo engajamento no ambiente. Característica similar a lavadora de roupas *OV1*, que no uso doméstico fica indisponível com frequência, sem uso e desligada.

O papel de nó central também pode ser interpretado pelo *middleware* que orquestra as interações e, conseqüentemente, conecta-se com muitos objetos. Contudo, embora este seja um dispositivo físico, as suas funcionalidades são transparentes aos usuários do ambiente, como tal, não há um acesso direto ao dispositivo, tampouco ele interage com o cenário via sensores ou atuadores que estejam eventualmente embarcados.

#### 4.8.2 Modelo Conceitual

Considerando o fluxo das informações e a organização das funcionalidades implementadas, a Figura 31 destaca o modelo conceitual da arquitetura. Tal modelo arquitetural compreende cinco níveis, conforme segue: (i) físico; (ii) rede; (iii) controle; (iv) semântico, e; (v) aplicação. Cada qual, com as especificidades necessárias à gestão das relações estabelecidas nos ambientes da Social IoT, mas com alguma interatividade entre eles.

Os dispositivos IoT, por exemplo, tanto enviam informações ao *middleware*, quanto atuam diretamente no ambiente seguindo a sua vocação. O Objeto Virtual, por sua vez, tem sua atuação condicionada às definições registradas no ambiente e as regras de negócio impostas pelo módulo de gerenciamento. Este módulo de gerenciamento controla os serviços ofertados no ambiente, as interações ocorridas entre objetos e,

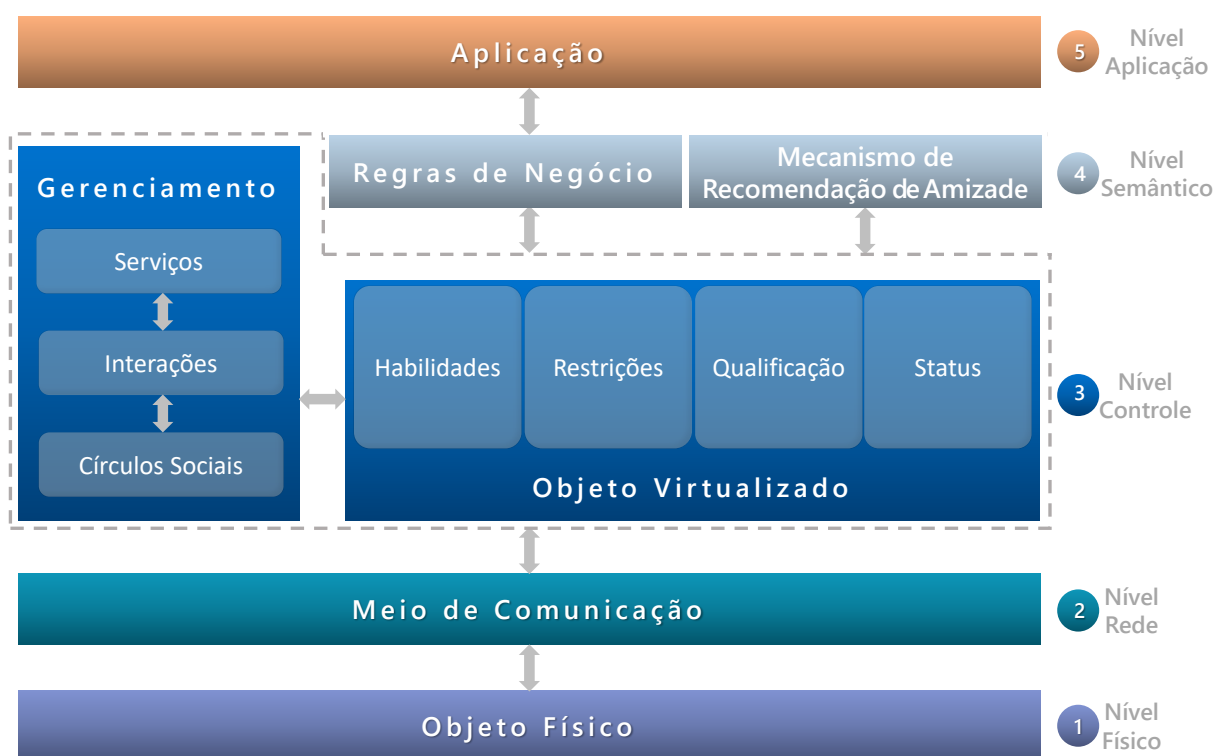


Figura 31 – Modelo conceitual da arquitetura VISO

realiza eventuais indicações de objetos à composição de um círculo social.

No contexto modelado na Figura 31, as regras de negócio consideram as particularidades do ambiente, como o número de objetos ativos, o nível de confiança requerida nos relacionamentos, as condições de rede, entre outras tantas. Tais restrições são previamente estabelecidas e servem de indicativo para todos os objetos.

O mecanismo de recomendação, presente no nível semântico, analisa a classificação das amizades existentes e gera as recomendações a um novo objeto com base no seu perfil ou classe de enquadramento. Para essa classificação é observado o grau de importância de cada dispositivo, obtido por meio do ranqueamento previamente calculado, considerando o volume de interações e a qualidade dos serviços prestados no ambiente.

O nível de aplicação corresponde a interface que permite a virtualização dos objetos, a atualização das regras de negócio e o controle dos demais parâmetros ambientais. Este nível também compreende o interfaceamento com outras aplicações existentes no mercado. Outra funcionalidade importante nesta camada, diz respeito a possibilidade de monitoramento, em tempo de execução, dos objetos ativos.

#### 4.8.3 Modelo Funcional

A primeira questão funcional que merece destaque diz respeito a interface com o usuário, pois é um ponto fundamental de suporte as demais atividades operacionais da VISO. Neste sentido, cabe destacar que as interfaces são modeladas e desen-

validadas, integralmente, através do *framework* Flutter<sup>1</sup>, uma ferramenta que permite a criação de *software* multiplataforma, com um único bloco de código-fonte, para diversos sistemas operacionais móveis. O Flutter é um kit de desenvolvimento de interface de usuário móvel, criado em 2017 pelo Google. Apresentando um desempenho considerável devido ao uso de seu próprio mecanismo de renderização, denominado *Flutter engine* (FATKHULIN et al., 2023).

O *Flutter engine* elimina a necessidade de alguma ponte para se conectar com os módulos nativos do sistema operacional, pois ele próprio possui a maioria dos componentes pré-instalados. Neste sentido, é possível herdar as características estruturais, funcionando simultaneamente para diferentes sistemas operacionais, sem demandar ajustes no código-fonte, um método de desenvolvimento conhecido como híbrido (RAY, 2023).

A possibilidade de desenvolver as interfaces da VISO com a portabilidade para diferentes sistemas operacionais móveis, tornou o Flutter a seleção mais oportuna para as interações com usuários dessa aplicação. Para além destas interfaces, a arquitetura da abordagem VISO (ver Figura 32) também contempla uma estrutura de retaguarda com funcionalidades específicas para suporte a gestão dos relacionamentos na SIoT. Assim sendo, optou-se pela linguagem Python<sup>2</sup>, considerando a maneira como permite a manipulação dos dados.

A linguagem Python oferece vantagens na manipulação de dados, principalmente, considerando a dinamicidade no tratamento do tipo de dado. Os dados no Python são tratados abstratamente como um objeto, cada qual, vinculado a uma identidade, um tipo e um valor. Uma variável do tipo `List`, por exemplo, é uma das estruturas de dados disponíveis em Python que permite o armazenamento de uma coleção de dados e o processamento sequencial de seus elementos, que podem ser de diferentes tipos, como cadeia de caracteres, números, objetos e até mesmo outra lista (VAN ROSSUM, 2023). O tipo de dado lista é amplamente explorado pelos algoritmos da VISO.

Uma característica arquitetural adicional das funcionalidades da VISO diz respeito a sua implementação orientada à microsserviços baseados em APIs internas, sendo os algoritmos levemente acoplados, com funcionalidades específicas que trabalham de forma independente. As APIs internas aumentam a produtividade do time de desenvolvimento, maximizando a capacidade de reutilização de código-fonte e reforçando a consistência em novos aplicativos, ao tempo que as APIs públicas podem agregar valor ao negócio, permitindo que desenvolvedores terceirizados aprimorem os serviços ou agreguem novos clientes (FUNDAMENTALS OF RESTFUL APIS, 2023).

A vantagem da implementação de algoritmos levemente acoplados no serviço de simulação de amizades, por exemplo, permite a execução de forma desplugada da

---

<sup>1</sup>Disponível em: <https://flutter.dev>. Acesso em: out/2023.

<sup>2</sup>Disponível em: <https://www.python.org>. Acesso em: ago/2023.

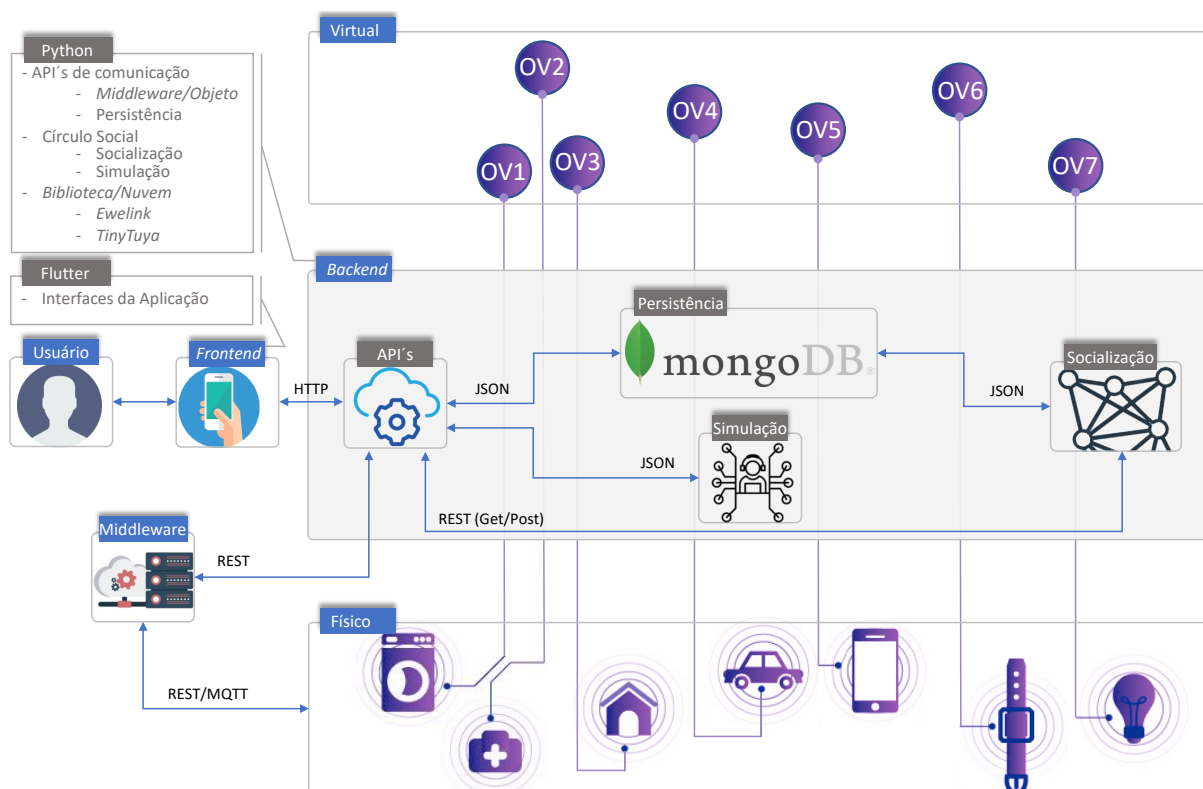


Figura 32 – Modelo funcional implementado na arquitetura VISO

aplicação principal, ou ainda, utilizando uma infraestrutura remota de nuvem. Características operacionais semelhantes aquelas observadas no serviço de socialização.

Um serviço importante implementado através de APIs se dá com a integração de bibliotecas fornecidas pelos principais fabricantes de objetos inteligentes do mercado, como a Tuya<sup>3</sup> e a Ewelink<sup>4</sup>. Estes fabricantes disponibilizam APIs públicas para acesso às respectivas infraestruturas de nuvem. Contudo, essa comunicação também pode ocorrer localmente, de forma direta, realizando requisições aos objetos ativos no ambiente. A Figura 33 exemplifica como os dados de um objeto ativo são disponibilizados na nuvem do respectivo fabricante.

A Figura 34 destaca o trecho do código-fonte referente a importação das bibliotecas de comunicação com um fabricante de objetos inteligentes e as principais rotinas para coleta dos dados destes objetos. A possibilidade de importar os dados de identificação dos objetos, diretamente da nuvem dos fabricantes, simplifica o processo de criação do Objeto Virtual (OV) e reduz a intervenção do seu proprietário.

Para persistir as informações no ecossistema da abordagem VISO é utilizado o MongoDB<sup>5</sup>. O MongoDB é um banco de dados orientado a documentos, de código aberto que oferece desempenho, disponibilidade e escalabilidade. O conjunto de do-

<sup>3</sup>Disponível em: <https://developer.tuya.com>. Acesso em: out/2023.

<sup>4</sup>Disponível em: <https://ewelink-api.vercel.app>. Acesso em: out/2023.

<sup>5</sup>Disponível em: <https://www.mongodb.com>. Acesso em: out/2023.

```

1  "result":[
2      {
3          "active time": 1679119114,
4          "biz_type": 0,
5          "category": "wnykq",
6          "create time": 1675882313,
7          "icon": "smart/icon/bay9ec63.png",
8          "id": "ebca8c81c4d50747224edf",
9          "ip": "177.53.66.128",
10         "lat": "-31.7600",
11         "local key": "9d22dbefca963362",
12         "lon": "-52.360 0",
13         "model": "IR-CBU-1",
14         "name": "Lab",
15         "online": true,
16         "owner id": "99766777",
17         "product id": "rqhxdyusjrwxyff6",
18         "product name": "Smart IR",
19         "status": [],
20         "sub": false,
21         "time zone": "-03:00",
22         "uid": "az16770127462859j2cs",
23         "update time": 1679119119,
24         "uuid": "60af2994e4b9556f",
25     }
26 ]

```

Figura 33 – Obtenção dos dados de um objeto diretamente da nuvem do fabricante em formato JSON

cumentos do MongoDB é contido em uma coleção, conceito equivalente ao de tabelas no banco de dados relacional (MLADENOVA; VALOVA, 2022).

Contudo, uma coleção de dados se difere de uma tabela relacional por não impor um esquema, uma estrutura rígida e pré-definida, conforme observado nas tabelas. Assim sendo, a flexibilidade do MongoDB sob diferentes perspectivas, o torna uma importante solução de armazenamento para aplicações IoT, inclusive para a abordagem proposta.

O transporte dos dados na arquitetura VISO ocorre mediante diferentes protocolos, respeitando sua aptidão aos níveis de comunicação, conforme segue:

- do objeto até o *middleware*: adota protocolo *Representational State Transfer* (REST) para infraestruturas baseadas na Internet e, de forma alternativa, o protocolo *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) para a comunicação direta entre dispositivos, também chamada de comunicação *Machine to Machine* (M2M);
- do *middleware* até a API: utiliza o protocolo REST, considerando um ambiente distribuído, caso contrário, da API embarcada no próprio *middleware*, o qual assume o papel de servidor de borda, com isso não requer um protocolo;

```

1  #Importação das bibliotecas#
2  from tinytuya import *
3  import json
4
5  #Importação dos objetos registrados na nuvem do fabricante do smart device#
6  devicesVet= c.getdevices()
7
8  #Criação do arquivo para gravação dos dados do objeto#
9  with open ("devices.json", 'w') as device:
10     json.dump (devicesVet, device, indent=4)
11
12  #Escaneamento dos objetos listados no snapshot da conta#
13  with open ("snapshot.json", 'r') as my_json:
14     dados = json.loads(my_json.read())
15
16  #Leitura do vetor de objetos identificados na nuvem#
17     for i in dados['devices']:
18         idDevice.append(i['id'])
19         ipDevice.append(i['ip'])
20         keyDevice.append(i['key'])
21         versionDevice.append(i['ver'])
22
23  #Criação do vetor contendo os objetos e suas informações básicas#
24  for i in range(len(keyDevice)):
25     if (ipDevice[i] != '') and (idDevice[i] != '') and (keyDevice[i] != ''):
26         d.append(outletDevice (idDevice [i], ipDevice[i], keyDevice[i]))
27         d[i].set_version(3.3)

```

Figura 34 – Código-fonte para coleta dos dados de um objeto inteligente na nuvem do fabricante

- da API até a persistência: é baseado na sintaxe do objeto de dados JSON, com o transporte destes dados através do protocolo *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), e;
- da persistência até a interface: também segue o padrão JSON, sobre o HTTP.

Os protocolos MQTT e REST podem fornecer funções estendidas para aquisição de dados e oferecem diferentes opções em termos de transferência destes na integração de objetos inteligentes, fundamental, do ponto de vista funcional, para a expansão da IoT. Estes protocolos suportam tanto a transferência de estruturas de dados binárias quanto as complexas, como aquelas observadas em documentos JSON. A aptidão de ambos os protocolos ocorre sob a luz da comunicação, mas, além disso, estende-se a eficiência energética demandada dos objetos que constituem a SIoT (NEMLAHA et al., 2023).

Todas as questões funcionais e arquiteturais destacadas nesta seção dão suporte aos algoritmos implementados. Neste sentido, a Seção 4.9 consolida os algoritmos da abordagem VISO voltados a classificação da relevância dos objetos no ambiente.

## 4.9 Síntese da Abordagem VISO

As principais características funcionais da abordagem VISO são destacadas na Tabela 5, juntamente com a metodologia aplicada e uma breve descrição do propósito em implementar tal função. A composição do Círculo Social combina todas as metodologias adotadas pelas demais funcionalidades, tendo como intuito a facilitação das interações através do agrupamento dos objetos.

Tabela 5 – Características funcionais dos algoritmos que integram a abordagem VISO

Funcionalidade	Metodologia	Descrição
Heterogeneidade	<i>Digital Twin</i>	Mapeia objetos físicos em seus respectivos gêmeos digitais, originando um OV
Segurança	Confiança Direta	Pondera a relevância do serviço prestado e o <i>feedback</i> emitido pelo objeto requerente
Classificação	<i>Organizational Network Analysis</i>	Atribui um perfil ao objeto, conforme o volume de interações realizadas no local
Hierarquia	PageRank	Importância do objeto definida em razão das amizades estabelecidas nas interações
Círculo Social	Combinação das Metodologias	Reduz a complexidade de busca, agrupando objetos com interesses semelhantes

Neste sentido, de forma resumida, as contribuições e características funcionais incorporadas a VISO são as que seguem:

1. HETEROGENEIDADE: a dificuldade em compatibilizar diferentes objetos no ambiente para interação é suprida com a virtualização dos objetos físicos, através da criação de uma réplica virtual com as características funcionais daquele objeto.

2. SEGURANÇA: a confiança nas relações estabelecidas entre os dispositivos que interagem no ambiente se dá em função do fator transacional, expresso pela relevância da requisição e pelo *feedback*, que é a qualidade do serviço prestado, ambos indicadores pontuados na perspectiva do objeto requerente.

3. CLASSIFICAÇÃO: os objetos são ranqueados considerando seu nível de engajamento, aqueles que mais interagem e recebem boas avaliações nos serviços prestados são priorizados na indicação de amizades aos novos objetos inseridos no ambiente.

4. HIERARQUIA: a apuração do peso de um vértice, que sugere a relevância do objeto no ambiente, considera a importância de suas amizades, com isso, evita-se o conluio entre objetos maliciosos.

Com base nas principais características do modelo proposto e descritas no decor-

rer deste capítulo, a Seção 4.10 é dedicada a traçar um paralelo entre os trabalhos correlatos e os avanços alcançados no modelo proposto.

## 4.10 Diferenciais Estratégicos do Modelo Concebido

No intuito de evidenciar as contribuições deste trabalho, na perspectiva da gestão dos relacionamentos na Social IoT, a seguir são apresentados aspectos promissores do modelo concebido, frente às produções científicas destacadas na RSL. Estas produções estão descritas de forma mais abrangente na Seção 3.2.

### a) Modelo DCIM

O modelo DCIM proposto por Aldelaimi; Hossain; Alhamid (2020) forma grupos de interesses considerando as semelhanças entre objetos. O modelo transfere a carga computacional inerente a ação decisória, pela adesão ou não a um grupo, diretamente para os objetos da borda.

Contudo, o processamento na borda exige uma capacidade computacional e um consumo energético que muitas vezes são incompatíveis com os dispositivos de borda. A solução também deixa uma lacuna quanto a compatibilização dos objetos existentes no mercado, a maneira como poderiam interagir no ambiente proposto pelo DCIM.

Frente a esta análise do modelo DCIM, o conceito de Objeto Virtual proposto permite a inserção de diferentes dispositivos ao ambiente, superando assim, os aspectos de compatibilização. Além disso, a carga computacional é direcionada para um dispositivo central dotado de uma percepção global dos objetos ativos que interagem no ambiente, facilitando o encaminhamento assertivo de requisições.

### b) Modelo Social Pal

O modelo Social Pal apresentado por Amin; Choi (2020) restringe as interações entre objetos pela exigência de uma chave de acesso previamente definida, dificultando as relações autonômicas. Além disso, também demanda uma estrutura de servidores para a gestão das relações que só ocorrem através da *Web*.

Neste sentido, a infraestrutura proposta atua localmente sem empregar serviços remotos, bem como as interações ocorrem sem a necessidade de autorização prévia. Os objetos indicados para atender uma requisição são os mais aptos naquele momento.

### c) Modelo DANOS

O *framework* DANOS implementado por Defiebre; Sacharidis; Germanakos (2020) estabelece uma área de virtualização de objetos. Contudo, serve apenas para a reco-

mendação de produtos e não de relacionamentos. As relações ocorrem apenas entre objetos amigos e dentro de áreas restritas, tratadas como células.

De forma contrária, o modelo de recomendação proposto neste trabalho é guiado por uma lista de objetos ranqueados pelos seus pares conforme a relevância dos serviços prestados. Além disso, a qualificação é percebida em todo o ambiente e por todos os objetos, estimulando novas interações.

#### **d) Modelo TCDP**

O *framework* de Khanfor et al. (2020) exige um poder computacional no servidor de gestão do ambiente para fazer a detecção de comunidades, com o uso de técnicas de aprendizado de máquina. Embora ofereça vantagens tanto na redução do espaço de busca por serviços, como na assertividade das indicações de amizades, requer um treinamento recorrente.

Na proposta implementada neste trabalho, a metodologia ONA permite traçar o perfil dos objetos, considerando o sucesso nas interações e na qualificação observada pelos pares. Já a redução no espaço de busca ocorre através da composição dos círculos sociais entre os objetos com maior volume de interações e também considerando um *feedback* satisfatório na maioria das respostas.

#### **e) Modelo UniCAT**

O sistema de recomendações desenvolvido por Lye et al. (2020) se limita a gerar indicações de serviços potencialmente relevantes para objetos que realizam requisições similares no ambiente, ou ainda, que compartilham da mesma localização. Este último aspecto, da localização do objeto, pode ser pouco relevante em ambientes limitados pelo alcance da rede de comunicação.

Nesta linha, a abordagem VISO também utiliza-se da intensidade do sinal percebido pelo objeto. Contudo, este valor é apenas um dos parâmetros utilizados na classificação dos candidatos que podem responder uma requisição de maneira satisfatória. Logo, percebendo um sinal de rede fraco, a requisição é encaminhada para outro dispositivo com melhores condições naquele momento.

#### **f) Modelo *Service Recommendation***

Khelloufi et al. (2021) constituem os relacionamentos entre objetos a partir das redes sociais do proprietário de cada dispositivo, ou seja, as interações sociais no nível dos usuários são passadas para o nível dos dispositivos que estabelecem os relacionamentos na SIoT. Portanto, os dispositivos podem realizar diferentes tarefas e interagir de maneira social após a decisão dos usuários.

A proposta de Khelloufi et al. (2021) é restritiva sob diferentes aspectos, pois demanda de informações das redes sociais do proprietário e isso limita as interações

entre os objetos, todavia, pode garantir maior privacidade e proteção na troca de informações. A VISO impõe limitações no momento da criação do OV, após esta definição inicial há liberdade para o objeto interagir no ambiente com os demais, independente do grau de amizade entre seus proprietários.

#### **g) Modelo *Data Aggregation***

Meghana; Hanumanthappa; Prakash (2021) adotam uma abordagem baseada em *cluster* para a agregação dos dados coletados de objetos. Nesta abordagem, uma região de interesse é dividida em vários *clusters* e dentre eles um *cluster head* é eleito para agregar os dados. Os dados são propagados para a estação base por meio dos módulos dedicados. Na estação base são aplicados algoritmos de aprendizado de máquina para a classificação e composição dos grupos.

Na abordagem VISO são constituídos grupos, denominados círculos sociais, contudo o agrupamento é por intensidade de relacionamentos, que facilita as interações. Já na proposta de Meghana; Hanumanthappa; Prakash (2021), os objetos são agrupados por similaridade de serviços ou informações. Tal proposta, talvez, seja eficiente em ambientes com maior diversidade de serviços, mas ainda assim, exige um custo computacional importante para a aplicação dos algoritmos de aprendizado de máquina que definem tal similaridade.

#### **h) Modelo *Provider Services***

O modelo proposto por Zannou; Boulaalam et al. (2021), busca a redução da latência ao aproximar da borda da rede o processamento e a análise de dados gerados a partir de dispositivos IoT. O desafio é como alcançar os nós rapidamente e compartilhar a solicitação com o executor certo para minimizar o uso de recursos e o tempo.

Os autores propuseram um modelo de reconhecimento utilizando uma rede neural para descobrir nodos adequados a uma requisição específica. Este é um modelo que substitui a fase de descoberta. Depois disso, quando um conjunto de provedores é obtido do modelo preditivo, há uma simplificação na seleção do nó mais relevante para atender a requisição.

A limitação do modelo proposto por Zannou; Boulaalam et al. (2021) surge com a necessidade de um conhecimento previamente constituído do ambiente e, além disso, em locais com relações mais dinâmicas ou com uma gama de serviços disponibilizados, a eficiência e assertividade são aspectos comprometidos, pois exigem treinamento constante da rede neural. Na VISO após cada interação, o prestador do serviço é avaliado e sua qualificação depende da relevância no ambiente daquele que o avalia. Um processo mais simples e dinâmico.

### **i) Modelo ResIoT**

O ResIoT modelado por Fortino et al. (2022) adota a reputação dos objetos como forma de criação dos grupos. Assim sendo, apenas objetos com pontuação equivalente conseguem interagir, normalmente são objetos similares e homogêneos quanto aos serviços disponibilizados, o que restringe as colaborações.

Já o mecanismo de reputação proposto neste trabalho distribui igualmente uma reputação para todos os objetos, ajustando a importância de cada um, conforme o volume de interações no ambiente. Assim sendo, os objetos com melhor avaliação são recomendados para novas amizades e interações no ambiente.

### **j) Modelo EDT**

Picone; Mamei; Zambonelli (2022) exploram a interoperabilidade proporcionada pela implementação do conceito de gêmeo digital, enfatizando que a solução proposta pretende ser complementar e não competir com os módulos de borda existentes. Para tal, sugere-se um gerenciamento flexível e eficaz das relações sem limitá-lo a um dispositivo centralizador de pacotes, mas sim, introduzindo a consciência a cada objeto digitalizado, fornecendo uma abstração efetiva na camada física.

A sugestão de Picone; Mamei; Zambonelli (2022) é similar a introduzida pela VISO através do Objeto Virtual (OV), o qual transporta todas as características do objeto físico para o virtual – objeto digital no contexto daquele trabalho – com vistas a dirimir o atraso, o consumo de recursos, a complexidade e a flexibilidade do desenvolvimento das aplicações IoT.

A Tabela 6 fornece uma comparação resumida entre a abordagem VISO e dez outras soluções propostas para Social IoT. Esta visão geral simplifica as características reais de cada solução e visa oferecer uma comparação de alto nível dos principais recursos, pontos fortes e fracos da abordagem VISO em relação a outras soluções propostas para Social IoT.

#### **4.10.1 Potenciais Contribuições**

Considerando os aspectos distintos da abordagem VISO, suas contribuições podem ser classificadas em dimensões científicas, sociais e interativas da seguinte forma (CAMARGO et al., 2024):

##### **1. Contribuições Científicas**

- Aperfeiçoamento estrutural do ambiente IoT tradicional e criação de novos fluxos de mensagens que contribuem para interações entre os objetos e as aplicações IoT.
- Modificação do algoritmo PageRank incorporando a métrica social da confi-

Tabela 6 – Comparação entre a abordagem VISO e outras soluções propostas para Social IoT

Solução	Funcionalidade chave	Potencialidade	Limitação
DCIM	Agrupamento de objetos por semelhança	Tomada de decisões descentralizadas	Compatibilidade limitada; Sobrecarga na borda
Social PAL	Interação com chave de acesso	Acesso controlado; Baseado na web	Autonomia; Dependência da Web
DANOS	Virtualização de objetos	Operação local; Agrupamento	Relacionamentos restritos; Baseado em célula
TCDP	Detecção de comunidades	Reduz o espaço de busca; Preciso	Treinamento recorrente; Complexidade
UniCAT	Recomendações baseadas em localização	Relevância da localização; Recomendações personalizadas	Ênfase apenas na localização
Service Recommendation	Redes sociais do Proprietário	Baseado nas Redes Sociais; Interações do usuário	Dependência das redes sociais; Privacidade dos dados
Data Aggregation	Agregação baseada em cluster	Latência reduzida; Processamento da estação base	Uso intensivos de recursos; Escalabilidade limitada
Services Provider	Processamento e análise de bordas	Uso minimizado de recursos; Redução de latência	Dependência de conhecimento do ambiente
RESIoT	Agrupamento baseado em reputação	Orientado para a reputação; Grupos	Diversidade de colaboração limitada
EDT	Conceito de gêmeo digital	Abstração; Flexibilidade	Atribuição de funções; Interoperabilidade limitada
VISO	Ranqueamento dos objetos mais relevantes	Mapamento das interações; Comunidades de interesses	Ênfase nas interações

ança direta *Direct Trust* (D). Essa métrica é determinada por meio de avaliações realizadas por dispositivos da borda após cada interação.

- Melhoria da classificação dos dispositivos por meio da atribuição de papéis associados a metodologia ONA, permitindo que os dispositivos mais relevantes respondam prontamente às solicitações.
- Utilização de algoritmos de classificação exclusivamente para os objetos mais

ativos e influentes no ambiente, reduzindo assim a necessidade de avaliar todos os objetos e, consequentemente, diminuindo os custos computacionais da tarefa de classificação.

## 2. Contribuições para a Socialização dos Objetos

- Identificação dos papéis desempenhados pelos objetos no ambiente.
- Definição da prioridade na prestação de serviço aos dispositivos mais qualificados.
- Recomendação para integração em um círculo social realizada ao dispositivo com avaliações favoráveis conforme apontado pelos pares.

## 3. Contribuições para a Interatividade no Ambiente Inteligente

- Desenvolvimento e implementação de um mecanismo de recomendação responsivo de amizades que monitora ativamente as interações.
- Capacidade de agrupar objetos com base em regras de negócio, promovendo comunicação fluida e reforçando laços sociais entre objetos com funcionalidades semelhantes.
- Atribuição dinâmica de funções e qualificações a objetos com base no sucesso das interações dentro do ambiente.
- Integração com o *middleware*, especialmente o EXEHDA, através da camada de persistência dos dados, com a implementação de um método simples de mensagens do tipo chave-valor.

Embora a abordagem VISO introduza avanços em várias dimensões, é crucial reconhecer e abordar as suas limitações, que são discutidas abaixo. Para o tratamento de algumas destas limitações, a arquitetura funcional (ver Figura 32) prevê um módulo de simulação que pode operar com modelos preditivos e realizar recomendações de amizades contextualizadas e adaptadas ao ambiente em evolução.

### 4.10.2 Potenciais Limitações

Certamente, torna-se essencial reconhecer as limitações de qualquer nova proposta, incluindo a abordagem VISO, para que haja uma implementação eficaz e responsável no contexto da Social IoT. Com base em Camargo et al. (2024), algumas limitações e considerações da VISO estão descritas a seguir.

A credibilidade depositada pela abordagem VISO no volume de interação, como sendo uma métrica primária para a qualificação, pode fazer que objetos com altos volumes de interação recebam atenção desproporcional, mesmo que suas interações não sejam necessariamente as mais relevantes ou significativas globalmente. Assim,

um determinado grupo com muitas interações e que considere relevante o serviço de um objeto pode causar um desequilíbrio entre o volume de interação e outros fatores que reflitam as verdadeiras capacidades e a relevância desse objeto.

O foco da VISO no volume e no sucesso da interação pode não levar em conta adequadamente as habilidades ou conhecimentos que sejam específicos de alguns objetos. Certos objetos podem ter capacidades únicas cruciais em certos contextos, mas podem não ser totalmente reconhecidas pelos algoritmos de classificação e ranqueamento adotados pela abordagem proposta.

A recomendação e o agrupamento de objetos pela VISO podem não considerar plenamente as nuances contextuais das interações. Os objetos poderiam ser recomendados ou agrupados apenas com base em interações históricas, sem levar em conta o contexto específico ou o ambiente em evolução. Esta limitação conduz à perda de oportunidades de adaptação às novas circunstâncias.

A abordagem VISO pode tender mais para ser reativa, respondendo a interações passadas, em vez de prever necessidades futuras, ou mudanças de papel, ou capacidades de um objeto. Capacidades preditivas aprimoradas poderiam melhorar sua capacidade de gerenciar proativamente relacionamentos e interações.

Gerenciar relacionamentos em um ambiente complexo da Social IoT é desafiador. Assim sendo, garantir que a abordagem permaneça eficiente e escalável à medida que o número de objetos e interações cresce é uma preocupação constante, pois os ambientes da Social IoT são dinâmicos, com objetos e suas funções evoluindo ao longo do tempo. Logo, a VISO necessita de mecanismos adaptativos e responsivos às mudanças.

É importante reconhecer que estas limitações não são exclusivas da abordagem VISO, mas são desafios comuns na gestão de relacionamentos dentro da Social IoT. O reconhecimento dessas limitações traz como desdobramentos a necessidade de pesquisa contínua, desenvolvimento iterativo e refinamentos na abordagem. Equilibrar as limitações com as potencialidades dessa abordagem será vital para a sua implementação eficaz e para a socialização bem-sucedida de objetos dentro da Social IoT.

Considerando todo o arcabouço técnico-teórico apresentado e os diferenciais estratégicos da abordagem VISO, o Capítulo 5 detalha o conjunto de testes, validações e métodos aplicados aos algoritmos de classificação das amizades que constituem a solução proposta. O intuito é a criação de um ambiente de simulação próximo da realidade observada em aplicações IoT. Com esta finalidade, a simulação ocorre com a utilização de dados abertos gerados a partir de sensores da IoT, como também sobre dados sintéticos gerados em um ambiente de simulação de agentes.

## 5 EXPERIMENTOS DE AVALIAÇÃO

A solução implementada através dos algoritmos que integram a VISO passaram por validação, inicialmente, utilizando um conjunto de dados contendo informações referentes aos objetos e as relações estabelecidas no ambiente inteligente. Para tal, buscou-se em vários repositórios uma estrutura de dados documentada e validada por alguma produção científica publicada na área da IoT.

### 5.1 Validações com o Uso de Dados Reais

A base de dados escolhida atendeu aos critérios de disponibilizar o acesso aberto, estar vinculada a uma produção científica validada pela comunidade acadêmica e, principalmente, relacionada com a temática da Social IoT. Nesse sentido, o conjunto de dados criado e mantido por um tradicional grupo de pesquisa na área da Social IoT, o qual disponibilizou para o acesso público essa base de dados, intitulada *IoT Network Dataset*<sup>1</sup>, atendendo a totalmente dos critérios especificados para a sua seleção.

O conjunto de dados foi coletado a partir de objetos distribuídos num cenário de cidade inteligente no contexto da Social IoT. Tal conjunto fornece subsídios para avaliação do mecanismo de recomendação da abordagem VISO, tanto na perspectiva de assertividade, quanto no tempo de resposta demandado, considerando o número de dispositivos ativos na rede.

#### 5.1.1 Caracterização do Cenário Real de Coleta dos Dados

O conjunto de dados da fase inicial de testes derivam dos dispositivos instalados na cidade de Santander, na Espanha, como também dos equipamentos privados, trazendo aspectos de mobilidade das pessoas naquele cenário (MARCHE et al., 2020). Esse conjunto de dados contém valores obtidos a partir de 16.216 dispositivos, dos quais 14.600 oriundos de objetos privados e outros 1.616 de serviços públicos.

Os dados incluem tanto a localização geográfica dos objetos, quanto os serviços e aplicativos que eles disponibilizam ou consomem no ambiente (MARCHE et al., 2020).

---

<sup>1</sup>Disponível em: <http://www.social-iot.org/index.php?p=downloads>. Acesso em: out/2023.

Estes dados estão agrupados em formato de texto puro e descritos a seguir.

### 5.1.2 Especificação do Conjunto de Dados

Os dados disponibilizados ao acesso público estão organizados e categorizado em classes, mas padronizam a nomenclatura dos registros que identificam os objetos da seguinte maneira:

- `id device`: o identificador do dispositivo;
- `id user`: o identificador do proprietário do dispositivo;
- `device type`: a categoria associada ao dispositivo;
- `device brand`: a marca ou fabricante do dispositivo, e;
- `device model`: o modelo do dispositivo.

Cada categoria de objeto – `device type` – pode ser do tipo privado ou público. Para cada qual é definido um perfil referente ao conjunto de possíveis serviços oferecidos, bem como as potenciais aplicações que a categoria de objetos tem interesse. As categorias estão associadas aos seguintes descritores: 1. `device type`: grupo de associação do dispositivo 2. `id off service`: lista de identificadores de serviço oferecidos, e; 3. `id req application`: lista de identificação do aplicativo.

Os dispositivos privados, ou seja, do usuário, no contexto apresentado naquele projeto, são caracterizados como: *smartphones*, carros, *tablets*, *smartwatch*, computadores, impressoras e sensores domésticos. As interações entre eles ocorrem em um mesmo ambiente.

Já quanto aos dispositivos públicos distribuídos na cidade, eles estão categorizados conforme segue:

- ponto de interesse: local específico referente a um ponto de utilidade ou de relevância ao usuário;
- meio ambiente e clima: objeto responsável pelo monitoramento ambiental e meteorológico;
- transporte: objeto do tipo veículos, táxis ou ônibus;
- indicador: sinalização digital para exibição de informações;
- lixo: caminhão de coleta e transporte de resíduos;
- iluminação: lâmpadas de rua que iluminam os caminhos da cidade;
- estacionamento: local projetado para estacionamento, e;

- alarme: equipamentos voltados a supervisão e segurança, bem como aqueles de monitoramento do tráfego.

Com base nesses dados, a abordagem VISO foi aplicada utilizando algoritmos e técnicas para classificação e recomendação de interações entre objetos da Social IoT. A Seção 5.1.3 descreve os principais aspectos observados com a aplicação das metodologias que constituem a abordagem proposta.

### 5.1.3 Resultados Preliminares do Modelo

Na fase inicial de validação do modelo de classificação da abordagem VISO, não foram aplicadas limitações ambientais ou regras de negócio específicas. Além disso, na descrição dos dados coletados, também não foram impostas restrições em relação ao número de amigos ou requisições atendidas por cada objeto (CAMARGO; PERNAS; YAMIN, 2022).

A primeira aplicação do modelo de classificação dos relacionamentos resultou na identificação de 146 mil ações realizadas pelos objetos, onde uma ação pode ser, por exemplo, a simples autenticação ou a detecção de movimento, mas isso não caracteriza uma requisição. Em contraste, houve registro de 11 mil requisições atendidas, provenientes de 154 dispositivos distintos. Esses dispositivos foram classificados em 16 classes diferentes, como apresentado na Figura 35. No intuito de facilitar a identificação dos objetos, o atributo do nome original foi prefixado com *PRI\_* para objetos privados e, *PUB\_* para objetos de acesso público.

Uma resposta adicional gerada pelo modelo de classificação da abordagem VISO é a identificação do papel exercido pelos objetos que interagem no ambiente. Para compatibilizar esse classificador de amigos com os dados já existentes, foi considerada a completude das interações, atribuindo a pontuação máxima no atributo de confiança direta, ou seja, interações relevantes e *feedback* satisfatório em todas as relações estabelecidas.

A Figura 36 enfatiza as classes de objetos que interagem com o maior número de grupos. As classes *PRI\_Smartphone*, *PUB\_Alarme*, *PUB\_Environment* e *PRI\_HomeSensors* foram classificadas como nodos Disseminadores, pois seus objetos têm maior capilaridade nos círculos sociais formados no ambiente. Além disso, as classes *PRI\_Smartphone* e *PUB\_Alarme* também foram classificadas como Nó Central, pois representam 45% e 10%, respectivamente, das interações no ambiente. Os objetos dessas classes estão na lista de prioridades para indicações aos novos objetos, aumentando assim a probabilidade de sucesso nas futuras interações em um ambiente inteligente estruturado.

Por outro lado, os objetos das demais classes foram classificados como Periféricos, pois apresentam pouca interatividade no ambiente e participam de um número reduzido de grupos. Nessas condições, suas amizades tornam-se menos relevantes

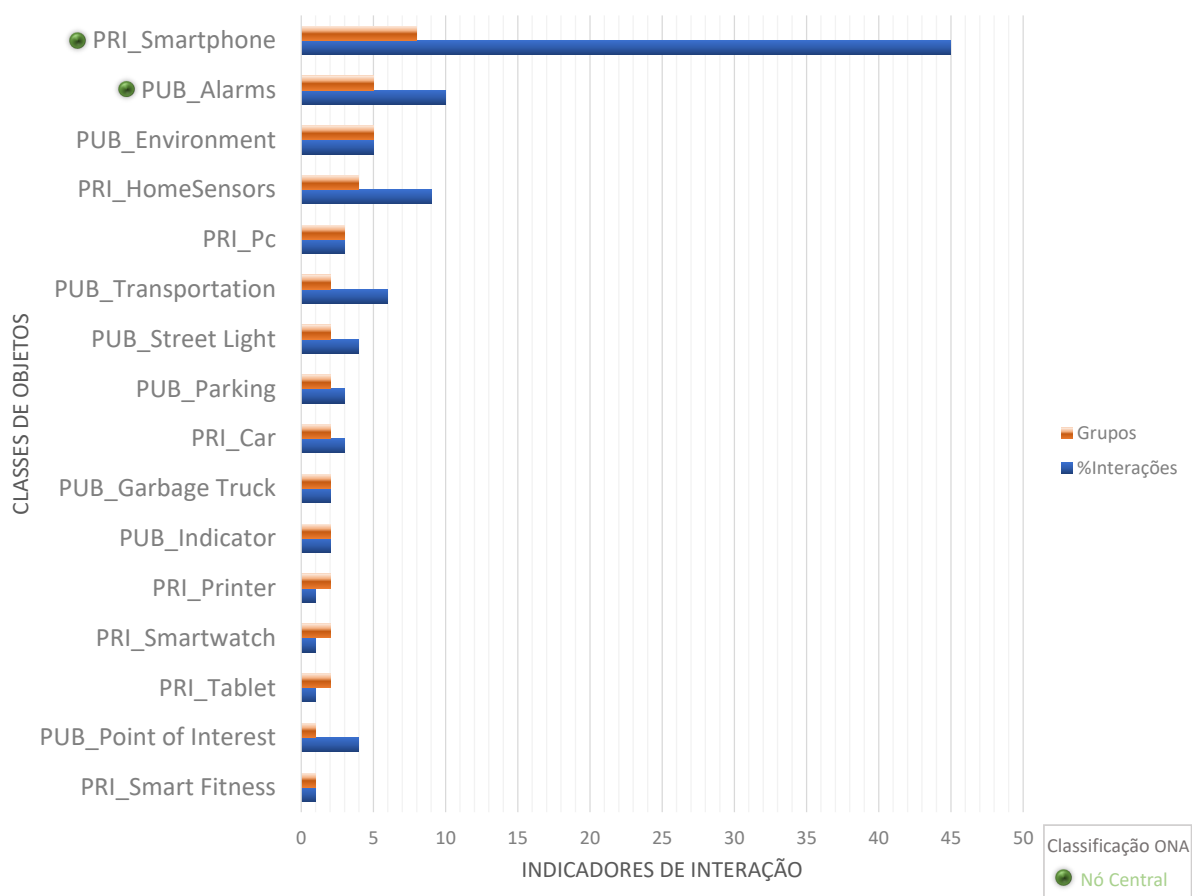


Figura 35 – Resultado da classificação gerada pelo modelo implementado

para indicações futuras, pois podem comprometer a segurança e a estabilidade do ambiente devido ao vazamento de dados ou à ausência de respostas às requisições dos vizinhos.

É importante ressaltar que a classificação como Disseminador foi atribuída às classes cujos objetos que participam em mais de 50% dos grupos constituídos, ou seja, com mais de 4 participações. Essa é apenas uma das várias regras de negócio que podem ser incorporadas. Cada ambiente pode ter formas distintas de classificação, de acordo com suas características e dinâmicas de socialização.

Quanto à classificação como Nó Central, o critério utilizado foi ter uma média de interações superior a 50% do total registrado, equivalente a 6 interações. Assim, foram classificados como Nó Central aqueles objetos pertencentes às classes com uma média de interação superior a 9% do total registrado.

O uso dos dados oriundos de objetos do mundo real permitiu identificar lacunas deixadas pelos dados faltantes e a adequação da estrutura para aprimorar os cálculos dos algoritmos implementados pela abordagem VISO. Entendeu-se, por exemplo, que o registro individualizado das interações entre objetos é mais promissor frente a identificação em classes de objetos. De forma complementar, os dados reais facilitaram a

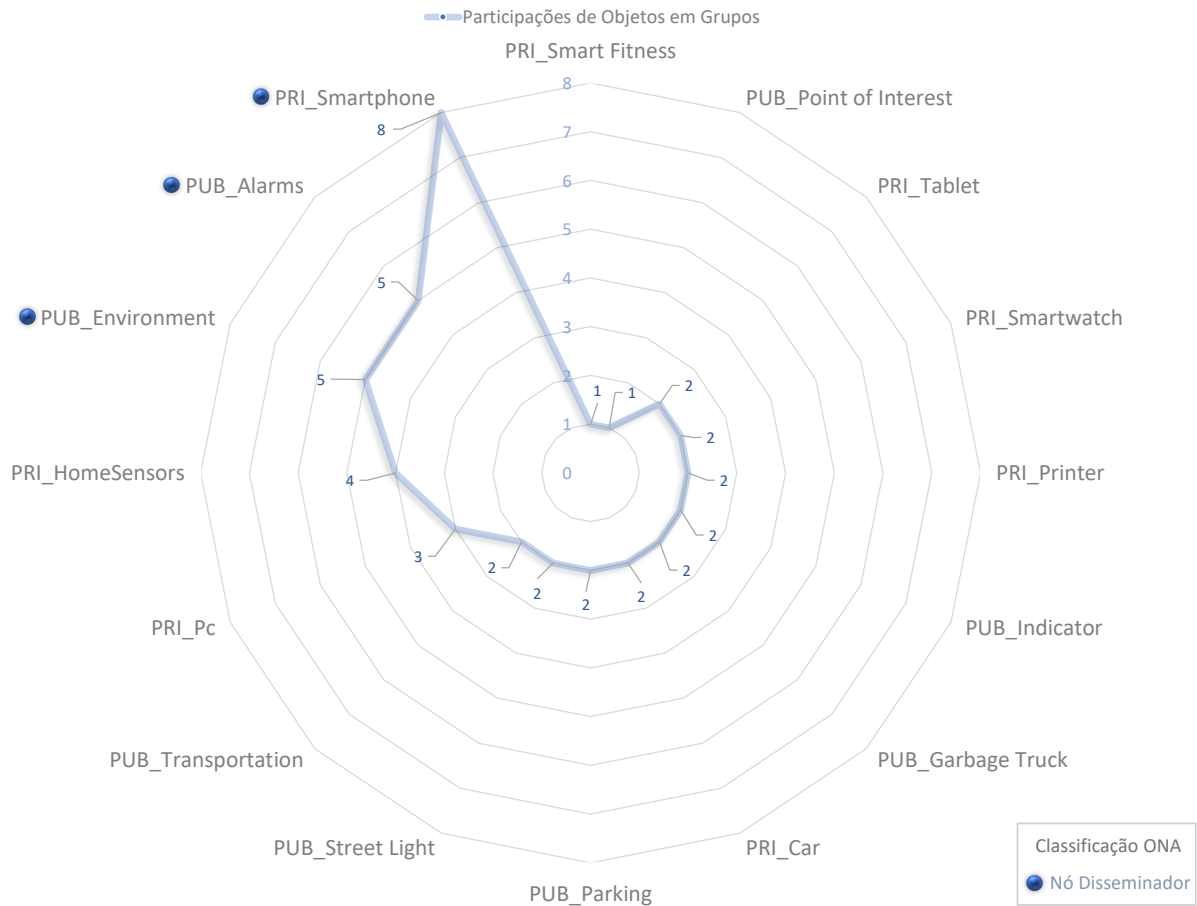


Figura 36 – Classificação de nodos disseminadores

modelagem dos agentes e do ambiente de simulação.

Os próximos testes do modelo proposto consistem na aplicação de diferentes qualificações às interações entre os objetos. Para tal, alguns valores serão incorporados à base de dados utilizada. Além disso, também serão inseridas regras de negócio que restrinjam o número de interações. Dessa forma, o modelo será desafiado a buscar alternativas oportunas para responder às requisições.

## 5.2 Validações com o Uso de Dados Sintéticos

Após a fase inicial de validação, que utilizou dados gerados por objetos reais da IoT interagindo em um cenário de cidade inteligente, foi percebida a necessidade de extrapolar alguns parâmetros para uma validação mais abrangente. Os dados reais possuíam algumas limitações estruturais, principalmente relacionadas à ausência de limitações ambientais ou regras de negócio explícitas (CAMARGO; PERNAS; YAMIN, 2022).

Para atender a essa segunda etapa de validação da arquitetura VISO, optou-se pela geração de dados sintéticos, usando o ambiente de modelagem e simulação de

agentes denominado *Shell for Simulated Agent Systems (SeSAm)*<sup>2</sup>. O SeSAm foi escolhido por oferecer uma interface totalmente visual e de prototipagem rápida, ao invés de uma interface de linha de comandos. Ao mesmo tempo, esta ferramenta permite a definição de tomadas de decisão complexas aos agentes. Assim sendo, acelera o processo de configuração do mundo ou cenário, e da criação dos agentes ou objetos, os quais serão inseridos nele.

O ambiente foi inicializado com os seguintes parâmetros de configuração:

- número de objetos inseridos;
- limite de interações;
- atendimento de requisições simultâneas;
- taxa de repetição de relacionamentos, e;
- percentual de operações com avaliação positiva.

Para dar mais credibilidade ao processo de mapeamento das interações, o mesmo processo de geração de dados na ferramenta de simulação foi repetido 10 vezes, para cada alternância no número de dispositivos e no volume de interações. Assim sendo, os valores reportados no decorrer da Seção 5.2 são resultados de validações com a geração de dados sintéticos oriundos da média aritmética destas operações.

A Figura 37 faz um destaque inicial de algumas coleções de dados, tais como as interações, a matriz de adjacência do prestador de serviços e a classificação dos objetos. Estas estruturas de dados exemplificam a base para aplicação dos algoritmos de classificação proposto.

Nesse cenário, é possível validar o enquadramento de cada objeto em um dos papéis definidos pela metodologia ONA. Com objetivo de destacar, principalmente, aqueles que têm o perfil de nó central devido ao volume de relacionamentos estabelecidos no ambiente. O reconhecimento dos perfis permite otimizar a execução do algoritmo de ranqueamento, o qual pode priorizar o cálculo de relevância apenas dos objetos mais ativos (ver Figura 37, item “c”), sem a necessidade de percorrer toda a lista de prestadores (ver Figura 37, item “b”).

A tabela mais à esquerda na Figura 37 item “a”, denominada “Recorte dos dados de interações”, detalha os objetos prestadores de algum serviço ou informação, seguido pela identificação do objeto solicitante e um valor de *status* que representa o *feedback* emitido pelo solicitante em relação ao serviço prestado. Nesse caso, o valor “0” representa insatisfação, enquanto o valor “1” representa atendimento satisfatório.

<sup>2</sup>Disponível em: <https://sourceforge.net/projects/sesam>. Acesso em: out/2023.

a) – Recorte dos dados de interações

Prestador	Solicitante	Status
6	21	0
6	21	1
11	12	1
11	16	1
11	28	0
35	39	1
36	13	1
36	13	1
36	37	1
37	28	0

b) – Lista de interações do objeto prestador

Prestador	Solicitante		
6	21*	21	
11	12	16	28*
35	39		
36	13	13	37
37	28*	*interações desqualificadas[status=0]	

c) – Classificação do objeto prestador do serviço, conforme a metodologia ONA

Papel	Objeto
Nó central	36
Disseminador	11
Periférico	37

Figura 37 – Recorte simplificado dos dados de interações gerados no simulador

Na sequência, após listagem de todas as interações, cada objeto prestador de serviço está vinculado a uma lista de objetos solicitantes. No entanto, os objetos solicitantes são registrados apenas quando o *feedback* emitido por eles ao prestador de serviço é satisfatório, descartando interações consideradas irrelevantes ou com respostas inadequadas.

No cenário apresentado, apenas um objeto é destacado como nó central devido ao volume de interações. Da mesma forma, considerando esse recorte ilustrativo dos dados, apenas um objeto é classificado como disseminador, pois interagiu com diferentes objetos e, conseqüentemente, tem maior capilaridade nos círculos sociais constituídos no ambiente.

### 5.2.1 Atribuição do Papel de Nó Central aos Objetos

A Figura 38 ilustra graficamente o comportamento da VISO, especialmente do algoritmo baseado na metodologia ONA para identificação dos papéis exercidos pelos objetos. A simulação apresenta variações ambientais na capacidade de socialização e no volume de objetos interagindo no local.

Com o uso da ferramenta de simulação, ampliou-se a complexidade do ambiente de socialização, inserindo 50 ou 250 objetos e liberando-os para estabelecerem livremente as relações. Neste cenário (ver Figura 38) foram demarcados três pontos de corte para análise, com 1.000, 5.000 e 10.000 interações cada um deles.

A Figura 38 limita-se a um volume de 10.000 interações, pois a simulação com 25.000 interações aplicada no ambiente contendo apenas 50 objetos conduz a um ponto em que a maioria deles interagem em alguma época. Isso ocorre devido à ocu-

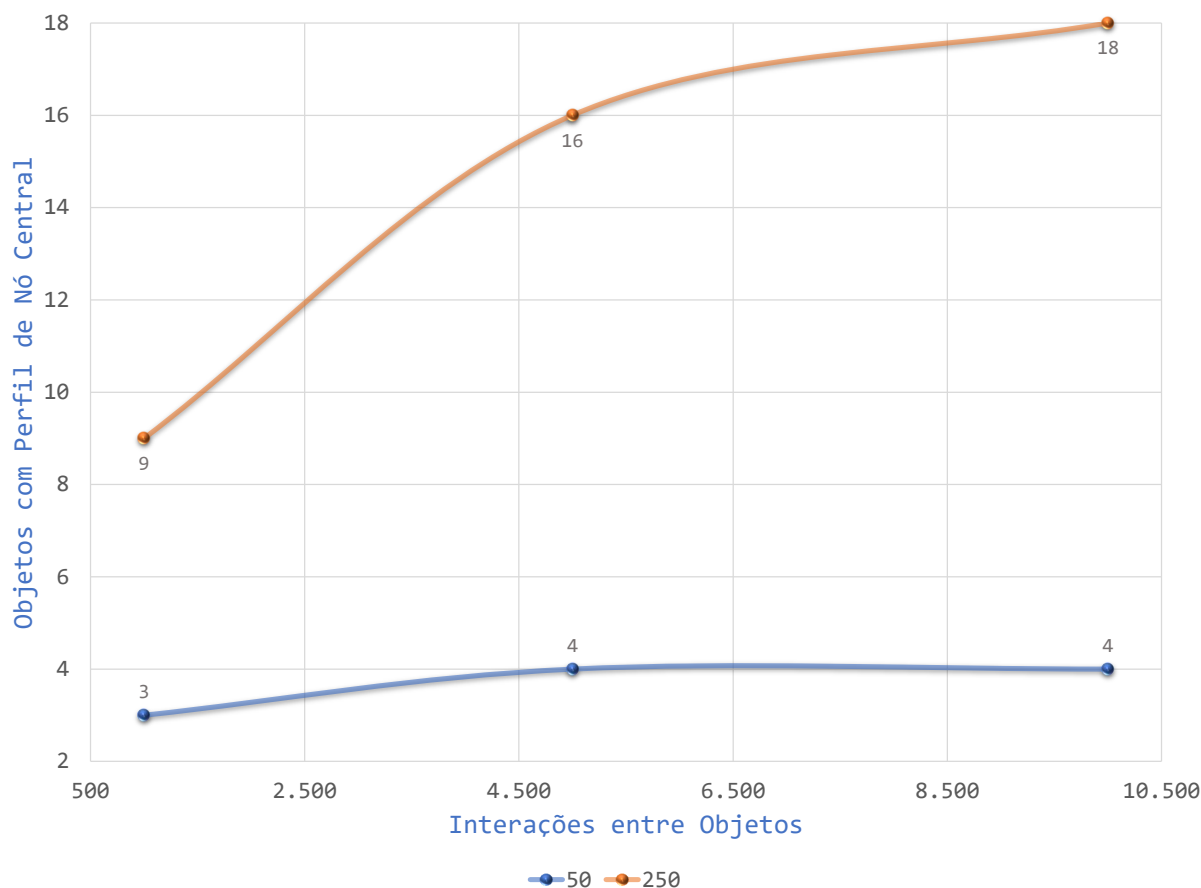


Figura 38 – Identificação de Nó Central, com variação de 50 a 250 objetos socializando

pação dos objetos centrais e do consequente direcionamento das requisições para outros objetos ociosos em dado momento. Neste sentido, a Figura 39 estende o volume de interações no ambiente, considerando um teste massivo com 25.000 relacionamentos estabelecidos entre 250 objetos.

Cabe destacar que os gráficos apresentados tanto na Figura 38 quanto na Figura 39 caracterizam uma tendência de estabilidade do ambiente no que tange à atribuição de papéis centrais. Inclusive, ao incrementar significativamente o volume de interações ou até mesmo o número de objetos ativos no ambiente, o número de objetos identificados como Nó Central é mantido.

### 5.2.2 Identificação das Relações Sociais

As simulações indicam que os objetos selecionados como nós centrais representam, em média, apenas 7% do total de objetos presentes no ambiente, mas eles cobrem até 60% das relações sociais estabelecidas (ver Figura 40). Eventualmente, objetos classificados como Nó Central recebem uma qualificação baixa pelos serviços prestados, mas a maioria das avaliações encontram-se próximas do limite superior, com valor “1” - *feedback* satisfatório.

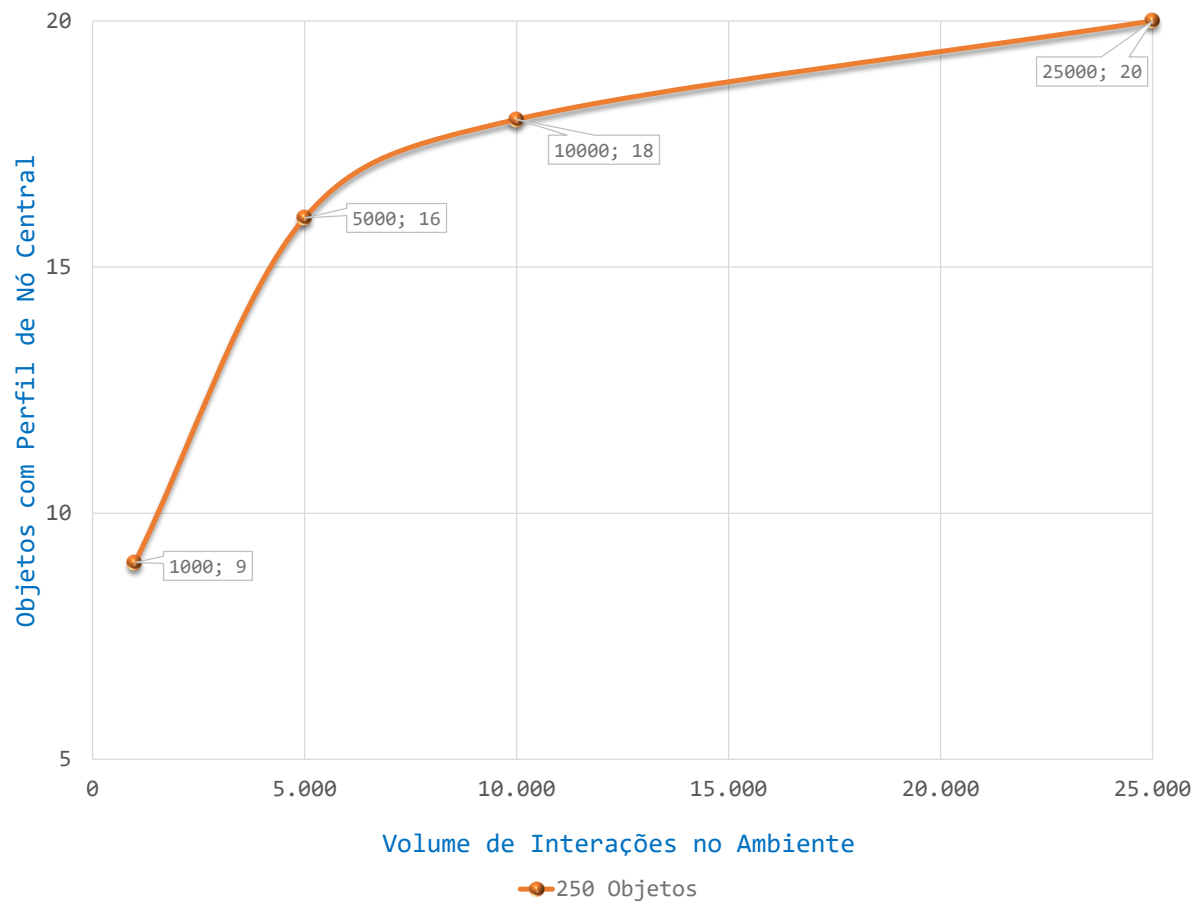


Figura 39 – Teste massivo com 250 Objetos interagindo no ambiente

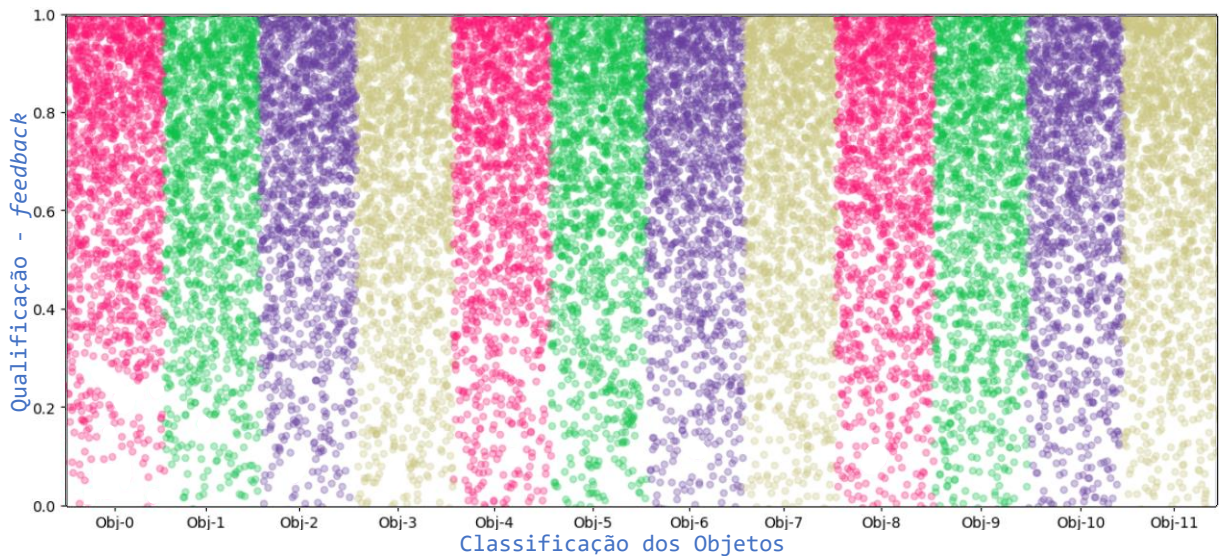


Figura 40 – Qualificações de Objetos Centrais mais relevantes após 10.000 interações

Com base na classificação de Nó Central, um objeto novo inserido no ambiente tem uma probabilidade maior de encontrar os serviços/informações ou até mesmo compor novos serviços ao interagir com qualquer objeto deste agrupamento. Por outro lado, uma virtude dos algoritmos implementados na abordagem VISO, quando da classifi-

cação nas interações ocorridas entre os objetos, fica evidente (ver Figura 41) que os objetos com baixa reputação devido ao *feedback* insatisfatório, ou seja, mais próximos de zero, apresentam um volume de interações igualmente baixo no ambiente. Como resultado, tais objetos ocupam as últimas posições no ranqueamento de indicações para os novos objetos inseridos no ambiente.

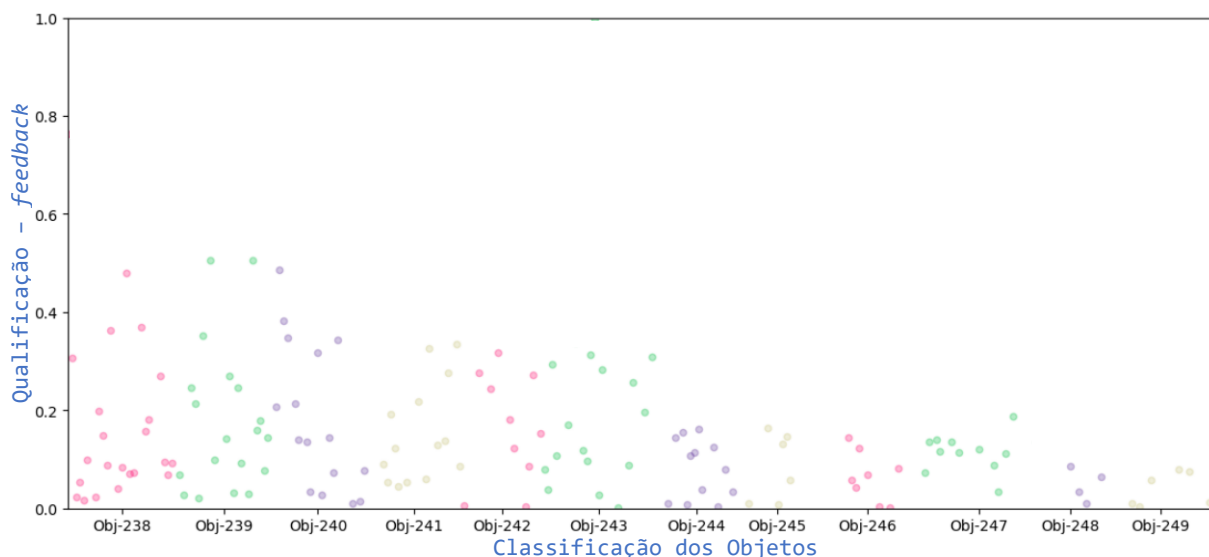


Figura 41 – Objetos com baixa qualificação após 10.000 interações

### 5.2.3 Composição dos Círculos Sociais

Considerando a presença de 250 objetos ativos e as 10.000 interações registradas no ambiente, a Figura 42 destaca os grupos, ou círculos sociais no contexto deste trabalho, que são mais representativos tanto em número de objetos quanto em volume de interações. Neste sentido, oferece uma perspectiva mais visual dos objetos nos respectivos círculos sociais, destacando a importância do agrupamento realizado pela abordagem VISO, pois há uma significativa interação dentro de cada grupo.

Na Figura 42 estão representados 75 objetos dos 250 inseridos no ambiente. Eles são responsáveis por 7.200 interações no ambiente, considerando apenas as 8.000 qualificadas como satisfatórias, isso significa que os 75 objetos mais ativos são responsáveis por 90% das ações. Neste contexto, o grupo 01 apresenta maior capilaridade, trocando informações com a maioria dos grupos constituídos. O grupo 01 também tem o maior volume de interações, superando as 1.500 trocas de informações ou serviços apenas com o grupo 06. O grupo 04, por sua vez, se caracteriza pela intensa colaboração entre os objetos partícipes desse círculo social, assim como ocorre no grupo 02, apesar do menor volume de trocas.

O grupo 7 sinaliza o início de uma tríade e o ingresso de um novo objeto. Embora um círculo social ou grupo seja constituído por mais de dois objetos, é percebido que os grupos 08, 09 e 10, neste caso, contrariam tal expectativa. Tal fato ocorre pela

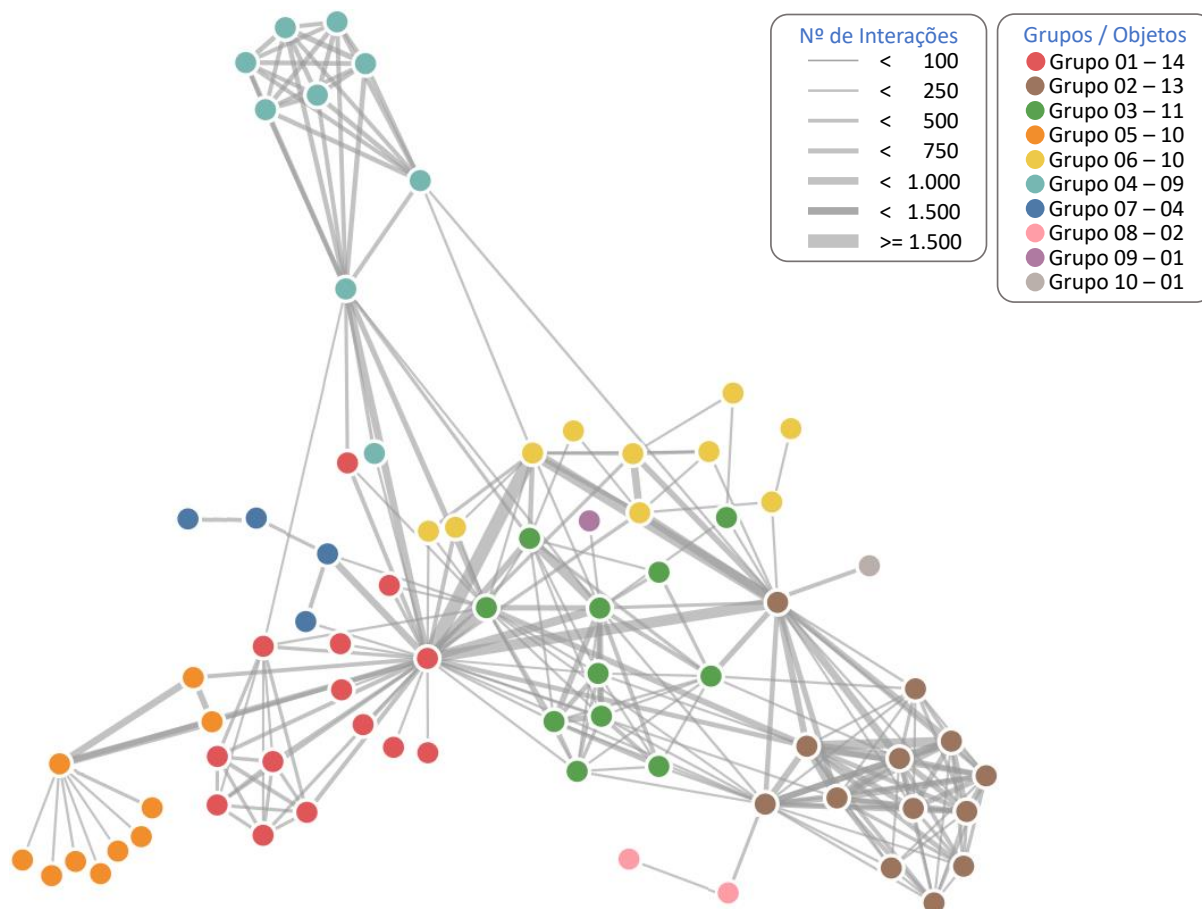


Figura 42 – Os 10 grupos mais significativos que representam 30% dos objetos e 90% das interações

atuação do mecanismo de composição de círculos sociais, o qual pode desagregar os objetos inativos, desqualificados ou banidos, conforme as políticas implementadas no ambiente, assim, o grupo ainda é mantido por um intervalo de tempo.

### 5.3 Síntese das Validações

As validações realizadas demonstraram que a abordagem VISO pode reduzir a complexidade de busca por serviços ou informações, selecionando apenas 7% dos objetos ativos mais representativos e formando círculos sociais que cobrem 90% das interações no ambiente. Os resultados foram promissores tanto com o uso de dados reais de objetos interagindo no ambiente quanto com dados sintéticos gerados em ambiente de simulação.

Ao analisar os dados reais, verificou-se que os objetos destacados como nós centrais representaram 55% das 11 mil interações registradas. Já com os dados sintéticos, os nós centrais abrangem 60% dos 10 mil relacionamentos. Isso indica uma proximidade entre as duas fontes de dados utilizadas para a validação da abordagem VISO.

Uma contribuição importante dessa fase de testes foi a validação da estrutura de dados modelada e seu refinamento. Isso permitiu um alinhamento com as demandas dos algoritmos implementados e possibilitou reduzir o custo computacional de trechos do código-fonte, por meio da replicação de dados na camada de persistência da arquitetura proposta. Essas replicações reduziram o uso de estruturas de repetição para percorrer a totalidade dos registros e tiveram pouco impacto no dimensionamento dos registros mantidos no banco de dados.

A utilização de dois conjuntos de dados – real e sintético – enfatiza a importância de incorporar as relações entre os objetos socialmente conectados e ressalta como constituir círculos sociais pode aprimorar a recomendação de serviços na SloT. A identificação dos objetos mais relevantes para a indicação de novas amizades também é crucial para o sucesso das interações desde o princípio com os objetos incorporados ao ambiente.

No entanto, as validações apresentam algumas limitações, tais como: (i) a necessidade de inserir serviços e habilidades de cada objeto; (ii) o efeito da mobilidade na variação do sinal de rede percebido considerando as diferentes características de movimentação dos objetos, e; (iii) a avaliação do impacto no ranqueamento dos objetos em termos da relevância do objeto solicitante de um serviço prestado. A interpretação dessas validações encoraja a proposição de um cenário de aplicação em um ambiente inteligente da Social IoT, conforme descrito a seguir.

## 5.4 Perspectiva de Aplicação da VISO em Educação

As validações iniciais da abordagem VISO, usando dados reais e sintéticos sob várias condições de estresse ambiental, produziram resultados promissores. Uma observação importante é a estabilização das respostas do classificador, indicando a adaptabilidade da abordagem a diferentes cenários. Essa adaptabilidade é uma característica valiosa, pois permite a aplicação da abordagem VISO em uma ampla gama de ambientes inteligentes, desde aqueles com poucos objetos e baixa interação até locais densamente povoados e com elevada interatividade.

A adaptabilidade estrutural da VISO, para a composição de Círculos Sociais, *e.g.*, proporciona agrupar objetos com as mesmas habilidades. Com isso, também há necessidade pela incorporação de outros algoritmos de classificação que auxiliam o Mecanismo de Recomendação (ver Figura 30) para a seleção do objeto mais adequado naquele momento, que pode não ser o melhor ranqueado, mas sim, a busca pelo caminho mais curto para alcançar o provedor mais apto do serviço.

Para outro caso simulado, um ambiente com pouca inserção de novos objetos, o agrupamento em um Círculo Social pode ocorrer em função da cooperação para atender requisições de uma aplicação específica da IoT. Priorizando assim as habilidades

presentes nos objetos em detrimento do ranqueamento de interações.

Com base nos aprendizados e todo o amadurecimento oportunizado pelas validações, um cenário de aplicação específico para Social IoT está atualmente em desenvolvimento e visa dar suporte à educação onipresente em um campus inteligente. A seguir estão descritos alguns pontos-chave sobre este cenário de aplicação:

- Projeto *Smart Campus*: o ponto central desse projeto é a estruturação de um ambiente de campus inteligente no qual vários objetos, como sensores, dispositivos e equipamentos, interoperam com vistas ao aprimoramento da experiência educacional e o gerenciamento funcional do campus.
- Educação Ubíqua: o foco principal é fornecer educação ubíqua, o que significa a disponibilização de recursos e serviços educacionais a qualquer hora e em qualquer lugar dentro do campus. Isso inclui aprendizado interativo, acesso a recursos digitais e experiências educacionais personalizadas.
- Gestão dos Relacionamentos: a abordagem VISO contribui para a gerência das interações e relacionamentos entre objetos e usuários dentro do ecossistema do campus inteligente. Isso inclui a recomendação de recursos educacionais relevantes, a personalização e a fluidez da comunicação.
- Escalabilidade: uma vantagem da abordagem VISO é sua escalabilidade observada no ambiente de testes. Nesse sentido, ela pode se adaptar às mudanças dinâmicas de um campus inteligente, acomodando um número crescente de objetos e interações à medida que o campus evolui.
- Personalização: a capacidade da VISO de classificar objetos em diferentes funções com base em suas interações pode ser aproveitada para fornecer experiências educacionais personalizadas. Por exemplo, pode recomendar recursos ou serviços de aprendizagem específicos adaptados às necessidades e preferências individuais dos alunos.
- Alocação Eficiente de Recursos: a abordagem VISO pode ajudar na alocação eficiente de recursos dentro do campus inteligente, garantindo que os serviços educacionais sejam prestados de forma eficaz e que a infraestrutura do campus seja utilizada de maneira consciente.
- Gerenciamento aprimorado do campus: além da educação, a VISO pode contribuir para o gerenciamento geral do campus inteligente. Ela pode ajudar a monitorar e controlar vários aspectos, como uso de energia, segurança e acesso às instalações, contribuindo para um ambiente de campus mais seguro, sustentável e eficiente.

A aplicação da abordagem VISO ao gerenciamento de relacionamentos em um campus inteligente para educação onipresente mostra a versatilidade e o potencial da Social IoT para aprimorar vários aspectos da vida no campus, desde a educação até o controle de recursos. Representa um caso de uso promissor para a criação de ambientes de aprendizagem mais conectados e inteligentes. À medida que a abordagem VISO se estabiliza e se adapta às necessidades específicas do campus inteligente, ela pode melhorar continuamente a qualidade dos serviços e interações, aprimorando a experiência educacional e do campus ao longo do tempo.

O próximo capítulo aborda as considerações finais deste trabalho, destacando os desafios superados ao longo da pesquisa, as contribuições oferecidas e as publicações realizadas. Os desdobramentos futuros e as atividades planejadas para a continuidade deste trabalho, também são descritas a seguir.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na perspectiva de resposta ao problema de pesquisa: Como realizar a gestão dos relacionamentos estabelecidos entre objetos, habilitando-os para a cooperação e o compartilhamento de habilidades em um ambiente da Social IoT? Considera-se fundamental que haja uma estruturação do ambiente de maneira que os objetos presentes nele sejam reconhecidos tanto pelas habilidades ou serviços que disponibilizam quanto pelas demandas por informação. Além disso, o mapeamento das interações e do sucesso das transações entre os objetos é complementar, tendo como intuito destacar os objetos mais ativos e relevantes em determinado contexto. A definição prévia de critérios para que os relacionamentos ocorram é igualmente importante. Estas considerações balizaram todo o processo de concepção da abordagem VISO, conforme descrito na sequência.

Em última análise, o objetivo da gestão dos relacionamentos na Social IoT é aprimorar as experiências no ambiente, permitindo que colaborações entre objetos conduzam a melhores serviços, conveniência e satisfação para os usuários do ecossistema. Neste sentido, o presente estudo apresentou uma abordagem inovadora e promissora para o gerenciamento dinâmico de relacionamentos entre objetos de um ambiente inteligente. Para tal, promoveu a organização das interações por meio de objetos virtuais, agrupando-os em comunidades de interesse, no intuito de facilitar a troca de informações e serviços, bem como melhorar a confiança e o engajamento dos objetos.

A seguir são sintetizados os desafios de pesquisa superados e as contribuições proporcionadas pela abordagem *Virtual Interactions between Social Objects* (VISO) na gestão dos relacionamentos. Essa gestão é intermediada pela organização do espaço de socialização entre os objetos, o que potencializa as interações entre eles. Além disso, também são detalhadas as publicações geradas a partir deste estudo e os trabalhos futuros do grupo de pesquisa nesta frente da Social IoT.

## 6.1 Contribuições da abordagem VISO

As contribuições da abordagem proposta podem ser divididas em dois aspectos distintos. Primeiro, denota as contribuições estruturais, que abrangem as definições conceituais e as implementações dos algoritmos voltados para a composição de círculos sociais entre os objetos da IoT. Destaca-se a adequação da metodologia ONA, que apresenta potencialidades para simplificar o processo interativo dos objetos.

O segundo aspecto aborda as contribuições organizacionais, que consistem em métodos para a classificação dos dispositivos mais relevantes no ambiente. Para tal, são consideradas a confiança e a importância dos objetos solicitantes de serviços, os quais avaliam um objeto prestador após cada interação, utilizando uma metodologia baseada na técnica de análise de *links* denominada PageRank, adaptada para contemplar o contexto social dessas interações.

A nova estrutura orientada à socialização dos objetos inteligentes, incentiva as relações sensíveis ao contexto por meio do monitoramento ativo das interações e do agrupamento dos dispositivos com características similares. As condições propiciadas por essa estrutura melhoram a fluidez da comunicação entre os objetos sociais e reduzem a carga funcional regularmente exercida pelo *middleware* no atendimento das requisições.

O modelo foi validado utilizando dados originados por objetos físicos, bem como dados sintéticos obtidos por meio de um *software* simulador de agentes denominado SeSAm. Para ambos os casos de teste, os algoritmos da abordagem VISO demonstraram resultados importantes e estabilidade em relação ao número de objetos destacados para futuras relações sociais. O uso de dados sintéticos permitiu extrapolar alguns indicadores e introduzir perturbações no ambiente, exigindo respostas diferentes do modelo, uma vez que passou a ponderar aspectos momentâneos do objeto em detrimento da qualificação histórica registrada em seus relacionamentos.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, foram divulgados alguns avanços em diferentes comunidades com interesse na área da IoT. A Seção 6.2 detalha os trabalhos já publicados. Além disso, existem outros artigos elaborados a partir dos desdobramentos desta pesquisa, com potenciais contribuições, *e.g.*, em processos educacionais.

## 6.2 Publicações Realizadas

Os resultados de pesquisas desenvolvidas até o momento estão divulgados em anais de eventos e periódicos, conforme descritos na Seção 6.2.1 – que lista publicações como o primeiro autor – como também na Seção 6.2.2 – trabalhos realizados em regime de coautoria, nos quais houve alguma contribuição no processo de pesquisa. A Seção 6.2.3, por sua vez, oferece diversos materiais complementares elaborados

durante o processo de concepção desta tese.

### 6.2.1 Publicações como Primeiro Autor

1. Camargo, L.; Pernas, A. M.; Yamin, A.; Haertel, F. (2021). Desafios de Pesquisa em Arquiteturas para IoT social. **In Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva (SBCUP)**, p. 1-10, Sociedade Brasileira de Computação (SBC), *Digital Object Identifier* (DOI): <https://doi.org/10.5753/sbcup.2021.15998>. Este artigo compreende a primeira investigação do grupo de pesquisa, com vistas a identificação das características arquiteturais presentes nas soluções voltadas a Social IoT. Como resultado desta análise, além da visão abrangente das produções científicas na área, também é destacado como desafio ainda não superado o adequado estabelecimento das relações entre os objetos que integram os ambientes inteligentes, motivando, assim, o aprofundamento do conhecimento nesse domínio específico.

2. Camargo, L., Pernas, A., Yamin, A. (2021). Gestão de Relacionamentos em Ambientes da IoT Social: Uma Revisão Sistemática. **In Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI)**, v. 1, n. 1, DOI: <https://doi.org/10.20906/sbai.v1i1.2851>. A revisão de literatura trazida neste artigo constitui a base conceitual para a escrita da tese, assim como, oferece os trabalhos qualificados como correlatos na temática da gestão dos relacionamentos. Em síntese, destaca-se como oportunidades de pesquisa nesta área, a definição dos círculos sociais das coisas, o perfil individual do objeto contendo suas funcionalidades e serviços, a confiança e a qualificação desse dispositivo no ambiente.

3. Camargo, L., Pernas, A., Yamin, A., Silva, L. (2021). Uma proposta à gestão de estacionamentos para cidades inteligentes. **In Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI)**, vol. 1, n. 1, DOI <https://doi.org/10.20906/sbai.v1i1.2852>. Este trabalho oferece um primeiro ensaio de aplicação prática da Social IoT, respondendo a uma demanda Institucional do projeto denominado Campus Inteligente. Para além de uma aplicação real, também permite a coleta de dados com potencial para análise e validação do modelo proposto, orientado à gestão das relações sociais entre objetos.

4. Camargo, L.; Pernas, A. M.; Yamin, A.; Luneri, S. (2022). Um Modelo Conceitual para Gestão Autônoma das Relações na Internet das Coisas Social. **In Seminário Integrado de Software e Hardware (SEMISH)**, 49 , 2022, Niterói. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2022. p. 188-193. ISSN: 2595-6205. DOI: <https://doi.org/10.5753/semish.2022.222486>. Neste artigo há um detalhamento do processo de integração das metodologias utilizadas no mecanismo implementado para a qualificação dos relacionamentos estabelecidos entre os objetos no ambiente.

5. Camargo, L.; Pernas, A. M.; Yamin, A. (2022). A Model for Socialization Between Social IoT Objects. **In Latin American Computer Conference (CLEI)**. October, p.,

2022, Armenia, Colombia, IEEE. ISBN: 978-1-5386-3057-0. O foco desta publicação se dá na modelagem das entidades-chave, bem como, nas metodologias adotadas para a gestão de relacionamentos e indicação de amizades entre objetos de um ambiente inteligente da Social IoT. O CLEI é um evento classificado como B1 no indicativo de qualidade da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

6. Camargo, L.; Pernas, A. M.; Yamin, A. (2022). A conceptual model for autonomic relationships in the Social Internet of Things. ***In Brazilian Symposium on Multimedia and Web (WebMedia)***, November, p. 7–11, 2022, Curitiba, Brazil. ACM, New York, NY, USA, 9 pages. ISBN: 978-1-4503-9409-3/22/11. DOI: <https://doi.org/10.1145/3539637.3557928>. Neste trabalho são sintetizadas as principais características estruturais da solução proposta e oferecidos alguns resultados dos primeiros testes realizados sobre dados oriundos de dispositivos IoT. Este artigo recebeu uma Menção Honrosa ao concorrer com cinco trabalhos indicados para o prêmio de Melhor Artigo da Trilha Principal do *Brazilian Symposium on Multimedia and Web (WebMedia)* 2022, promovido pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC). Evento enquadrado no estrato superior do indicativo de qualidade CAPES, com valor atribuído A4.

7. Camargo, L.; LIMA, C. C. de; Pernas, A. M.; Yamin, A. O Pensamento Computacional como Ferramenta de Suporte ao Desenvolvimento de Diferentes Aprendizagens. ***Revista Brasileira de Informática na Educação (RBIE)***, Porto Alegre, RS, Brasil, v. 31, p. 289–306, DOI: 10.5753/rbie.2023.2856. Este artigo é uma investida inicial do grupo de pesquisado no entendimento do cenário educacional, para potencial inserção da Social IoT, tendo como pano de fundo o pensamento computacional para auxiliar o processo ensino-aprendizagem de estudantes do ensino fundamental. A RBIE é uma revista classificada como A4 no indicativo de qualidade da CAPES. Essa investigação também trouxe contribuições para a proposição e escrita de um projeto intitulado *Smart Recommendation, Personalization, and Adaptation of Learning Trajectories* (REPENSER), com vistas a submissão no próximo edital do programa CAPES - *Comité Français d'Évaluation de la Coopération Universitaire et Scientifique avec le Brésil* (COFECUB).

8. Camargo, L.; Pernas, A. M.; Yamin, A. (2023). Abordagem VISO: uma Contribuição à Socialização entre Objetos da Internet das Coisas. ***In Seminário Integrado de Software e Hardware (SEMISH)***, 50 , 2023, João Pessoa, PB. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. p. 179-190. ISSN 2595-6205. DOI: <https://doi.org/10.5753/semish.2023.230258>. Este artigo apresenta a concepção da abordagem *Virtual Interactions between Social Objects* (VISO). Oferece o detalhamento dos modelos implementados, da arquitetura voltada à Social IoT, além disso, também explora o conceito de virtualização de objetos para uma atuação autônoma

no ambiente. O SEMISH é um evento classificado como A4 no indicativo de qualidade da CAPES.

9. Camargo, L.; Pauletti, J. F.; Pernas, A. M.; Yamin, A. (2023). *VISO Approach: a Socialization Proposal for the Internet of Things Objects*. In **Future Generation Computer Systems (FGCS)**, Exeter Devon, England, UK, ISSN 0167-739X, v. 150, p. 326-340, 2023, Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2023.09.009>. Este artigo apresenta os resultados obtidos pela abordagem VISO, com ênfase na criação de um ambiente estruturado e na sua eficiência para promover interações sociais no contexto da SloT. Destaca o contínuo desenvolvimento e aprimoramento da abordagem VISO para o enfrentamento dos desafios em evolução no domínio SloT. Adicionalmente, as contribuições da VISO no suporte aos avanços dos sistemas inteligentes e colaborativos ficam evidenciados pelos importantes resultados publicados. Esta publicação em periódico passou pela análise de cinco especialistas na área e, cabe destacar, que a totalidade das solicitações foram atendidas e aprovadas pelos revisores e pelo editor já na primeira rodada de avaliação. Além disso, a produção textual baseada nos pareceres dos revisores foi integralmente incorporada a tese, pois as indicações trouxeram importantes contribuições para o aprimoramento técnico e estrutural da pesquisa. O FGCS é um periódico enquadrado pela CAPES no estrato mais elevado de qualificação, com valor atual observado em A1.

### 6.2.2 Publicações como Coautor

1. Haertel, F.; Camargo, L.; Lopes, J.; Pernas, A.; Barbosa, J.; Yamin, A. (2021). Projeto Helix: Explorando Social Internet of Things (SloT) no Atendimento à Pessoas Portadoras de Deficiência Visual. In **Anais do XLVIII Seminário Integrado de Software e Hardware (SEMISH)**, p. 80-87. SBC, DOI: <https://doi.org/10.5753/semish.2021.15809>. Este artigo compreende outra importante frente de pesquisa, a qual é orientada à gestão das relações sociais entre pessoas, utilizando-se dos dispositivos presentes na IoT como elemento promotor dessas interações.

2. Haertel, F.; Camargo, L.; Lopes, J.; Pernas, A.; Mota, F.; Barbosa, J.; Yamin, A. 2022. Helix Project: Exploring the Social Internet of Things SloT in Care of Blind People. **Journal of the Brazilian Computer Society**. v. 28, n. 1, (Dec. 2022), p. 26–37. DOI: <https://doi.org/10.5753/jbcs.2022.2210>. A versão estendida do artigo que trata do projeto Helix-SloT, o qual explora os conceitos da Internet Social das Coisas para apoiar Pessoas Cegas. O objetivo é aprimorar o tratamento dos diferentes sensores que integram o atendimento dessas pessoas com o uso de SloT. Para tal, emprega Consciência de Contexto e Análise de Decisão de Múltiplos Critérios, auxiliando a autonomia das pessoas em termos de mobilidade, tempos de resposta e escolha do Cuidador da forma mais transparente possível.

### 6.2.3 Publicações de Materiais Complementares

Em consonância às boas práticas de ciência aberta, que visa aumentar disponibilidade, integridade e reprodutibilidade da pesquisa. Todos os artefatos gerados durante o processo criativo deste trabalho estão compartilhados no endereço acessado através do escaneamento do código na Figura 43. Os documentos integram um projeto e estão organizados em pastas na estrutura do repositório de dados mantido pelo projeto *Open Science Framework* (OSF)<sup>1</sup>.



Figura 43 – Atalho para a página de materiais complementares deste trabalho

Desta forma, o acesso público ao conteúdo permite visualização da última versão da produção científica, como também as modificações realizadas em toda a documentação. Esta iniciativa mantém o histórico evolutivo da pesquisa e a atualização imediata dos avanços, contribuindo para o engajamento da comunidade com a temática abordada, bem como, incentivando as colaborações técnicas oferecidas por outros pesquisadores na área da Social IoT.

### 6.3 Trabalhos Futuros

O trabalho continuará com a realização de pesquisas adicionais e aprimoramentos na abordagem VISO, buscando expandir o conhecimento e as contribuições para a área da Social IoT, especialmente na gestão dos relacionamentos entre objetos inteligentes. As principais frentes de pesquisa do grupo a partir da abordagem VISO, complementares a esta tese, são as que seguem:

<sup>1</sup>Disponível em: [https://osf.io/yfr3v/?view\\_only=8722b6e57a0f40c28adbbec9361d06f9](https://osf.io/yfr3v/?view_only=8722b6e57a0f40c28adbbec9361d06f9). Acesso em: out/2023.

- criar e integrar novos espaços sensoreados nas áreas de convivência do campus Anglo, em consonância ao projeto institucional de Campus Inteligente da UFPel;
- incorporar algoritmos de aprendizagem de máquina ao módulo de simulações das relações sociais da VISO, para melhorar a classificação e recomendação de objetos na Social IoT, utilizando dados históricos e padrões de interação;
- validar o desempenho da abordagem proposta sobre dados originados dentro do ecossistema, considerando as regras de negócio e as restrições de relacionamento impostas dinamicamente pela volatilidade do cenário;
- explorar aplicações práticas da abordagem VISO em diferentes domínios, como cidades inteligentes, saúde e indústria, para avaliar o impacto da Social IoT na melhoria da eficiência e qualidade dos serviços, e;
- avaliar alternativas para a classificação da relevância dos objetos, enfatizando diferentes aspectos, tais como a segurança, a precisão nas recomendações de amizades e o tempo de atendimento das requisições realizadas no ambiente.

Para além das atividades de pesquisa, pretende-se ainda, buscar junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), a proteção de propriedade intelectual de *software*, através do registro de programa de computador. Este registro confere proteção jurídica da autoria, em conformidade ao Artigo 2 da Lei nº 9.609<sup>2</sup>, aplicável ao código-fonte dos algoritmos implementados no mecanismo de recomendação de amizades, que combina diferentes modelos – *ensemble* – para suportar as demandas da abordagem VISO em ambientes da Social IoT.

---

<sup>2</sup>Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9609.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9609.htm). Acesso em: out/2023.

## REFERÊNCIAS

- AFZAL, B.; UMAIR, M.; SHAH, G. A.; AHMED, E. Enabling IoT platforms for social IoT applications: Vision, feature mapping, and challenges. **Future Generation Computer Systems**, Amsterdam, NL, v.92, p.718–731, 2019.
- ALDELAIMI, M. N.; HOSSAIN, M. A.; ALHAMID, M. F. Building dynamic communities of interest for internet of things in smart cities. **Sensors**, Basel, CH, v.20, n.10, p.2986, 2020.
- ALHAZMI, F.; ALJUBAIRY, A.; ZHANG, W. E.; SHENG, Q. **SloTPredict**: A Framework for Predicting Relationships in the Social Internet of Things. New York, NY, US: Springer, 2020. p.101–116.
- AMIN, F.; CHOI, G. S. Social Pal: A Combined Platform for Internet of Things and Social Networks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AND COMMUNICATION SYSTEMS (ICCCS), 2020, Shanghai, China. **Anais...** IEEE, 2020. p.786–790.
- ANDRZEJAK, P.; WAWRZYNEK, L. et al. Challenges in the Organizational Network Analysis: A Data Collection Process Perspective. **European Research Studies Journal**, Athens, Greece, v.24, n.Special 3, p.883–893, 2021.
- ARANGO-PATERNINA, C. M.; CARDONA-GÓMEZ, J.; ARBOLEDA-SERNA, V. H.; MUÑOZ-RODRÍGUEZ, D. I. Friends, physical activity, and sedentary behavior in university students: A social network analysis. **Revista de la Facultad de Medicina**, Bogota, Colombia, v.70, n.1, p.e91270–e91270, 2022.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. Social internet of things: turning smart objects into social objects to boost the IoT. **Newsletter**, Seoul, Korea, 2015.
- BANSAL, S.; KUMAR, D. IoT ecosystem: A survey on devices, gateways, operating systems, middleware and communication. **International Journal of Wireless Information Networks**, Singapore, v.27, n.3, p.340–364, 2020.

BOUAZZA, H.; SAID, B.; Zohra Laallam, F. A hybrid IoT services recommender system using social IoT. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**, Amsterdam, NL, v.34, n.8, Part B, p.5633–5645, 2022.

BRIN, S.; PAGE, L. The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. **Computer networks and ISDN systems**, Amsterdam, NL, v.30, n.1-7, p.107–117, 1998.

CAMARGO, L.; PAULETTI, J.; PERNAS, A.; YAMIN, A. VISO approach: A socialization proposal for the Internet of Things objects. **Future Generation Computer Systems**, Exeter Devon, England, UK, v.150, p.326–340, 2024.

CAMARGO, L.; PERNAS, A. M.; YAMIN, A. A Conceptual Model for Autonomic Relationships in the Social Internet of Things. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON MULTIMEDIA AND THE WEB WEBMEDIA, 2022, New York, NY, US. **Proceedings...** Association for Computing Machinery, 2022. p.305–313. (WebMedia '22).

CROSS, R.; GRAY, P. Optimizing Return-to-Office Strategies With Organizational Network Analysis. **MIT Sloan Management Review**, Cambridge, MA, US, v.62, n.4, p.1–7, 2021.

DEFIEBRE, D.; SACHARIDIS, D.; GERMANAKOS, P. A Decentralized Recommendation Engine in the Social Internet of Things. In: ADJUNCT PUBLICATION OF THE 28TH ACM CONFERENCE ON USER MODELING, ADAPTATION AND PERSONALIZATION, 2020, New York, NY, US. **Anais...** Association for Computing Machinery, 2020. p.77–82. (UMAP '20 Adjunct).

DERMEVAL, D.; COELHO, J. A. d. M.; BITTENCOURT, I. I. Mapeamento sistemático e revisão sistemática da literatura em informática na educação. In: **Metodologia de Pesquisa Científica em Informática na Educação: Abordagem Quantitativa**. Porto Alegre, RS, BR: SBC, 2020.

DHELIM, S.; NING, H.; FARHA, F.; CHEN, L.; ATZORI, L.; DANESHMAND, M. IoT-Enabled Social Relationships Meet Artificial Social Intelligence. **IEEE Internet of Things Journal**, New York, NY, US, v.8, n.24, p.17817–17828, dec 2021.

DHIMAN, G.; NAGAR, A.; KADRY, S. Explainable Artificial Intelligence for the Social Internet of Things: Analysis and Modeling Using Collaborative Technologies [Special Section Editorial]. **IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine**, New York, NY, US, v.8, n.4, p.34–35, 2022.

DICIO, I. M. M. **Dicionário da Língua Portuguesa**. On-line: Porto: 7Graus, 2023. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/viso/>>.

FATKHULIN, T.; ALSHAWI, R.; KULIKOVA, A.; MOKIN, A.; TIMOFEYEVA, A. Analysis of Software Tools Allowing the Development of Cross-Platform Applications for Mobile Devices. In: SYSTEMS OF SIGNALS GENERATING AND PROCESSING IN THE FIELD OF ON BOARD COMMUNICATIONS, 2023., 2023, New York, NY, US. **Anais... IEEE**, 2023. p.1–5.

FORTINO, G.; FOTIA, L.; MESSINA, F.; ROSACI, D.; SARNÈ, G. M. A Social Edge-Based IoT Framework Using Reputation-Based Clustering for Enhancing Competitiveness. **IEEE Transactions on Computational Social Systems**, New York, NY, US, p.1–10, 2022.

PATNI, S. **Fundamentals of RESTful APIs**. Berkeley, CA: Apress, 2023. p.1–15.

HAEMERS, D. **Exploring Organizational Network Analysis: A Case Study**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — University of Twente.

HÜLÜR, G.; MACDONALD, B. Rethinking social relationships in old age: Digitalization and the social lives of older adults. **American Psychologist**, Tampa, FL, US, v.75, n.4, p.554–566, 2020.

JIMENEZ, S.; SILVA, F. N.; DUEÑAS, G.; GELBUKH, A. ProficiencyRank: Automatically ranking expertise in online collaborative social networks. **Information Sciences**, Amsterdam, NL, v.588, p.231–247, 2022.

KHANFOR, A.; HAMADI, R.; GHAZZAI, H.; YANG, Y.; HAIDER, M. R.; MASSOUD, Y. Computational resource allocation for edge computing in social internet-of-things. In: INTERNATIONAL MIDWEST SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS (MWS-CAS), 2020, New York, NY, US. **Anais... IEEE**, 2020. p.233–236.

KHELLOUFI, A.; NING, H.; DHELM, S.; QIU, T.; MA, J.; HUANG, R.; ATZORI, L. A Social-Relationships-Based Service Recommendation System for SIoT Devices. **IEEE Internet of Things Journal**, New York, NY, US, v.8, n.3, p.1859–1870, 2021.

KOWSHALYA, A. M.; VALARMATHI, M. Trust management in the social internet of things. **Wireless Personal Communications**, New York, NY, US, v.96, n.2, p.2681–2691, 2017.

LOSHIN, D.; REIFER, A. Chapter 9 - Customer Data Analytics. In: LOSHIN, D.; REIFER, A. (Ed.). **Using Information to Develop a Culture of Customer Centricity**. Boston: Morgan Kaufmann, 2013. p.68–78.

LYE, G. X.; CHENG, W. K.; TAN, T. B.; HUNG, C. W.; CHEN, Y.-L. Creating Personalized Recommendations in a Smart Community by Performing User Trajectory Analysis through Social Internet of Things Deployment. **Sensors**, Basel, CH, v.20, n.7, 2020.

MARCHE, C.; ATZORI, L.; PILLONI, V.; NITTI, M. How to exploit the social Internet of Things: Query generation model and device profiles' dataset. **Computer Networks**, Amsterdam, NL, v.174, p.107248, 2020.

MCDOWELL, T.; HORN, H.; WITKOWSKI, D. Organizational Network Analysis. **Deloitte Development LLC**, New York, NY, US, 2016.

MEGHANA, J.; HANUMANTHAPPA, J.; PRAKASH, S. S. Performance comparison of machine learning algorithms for data aggregation in social internet of things. **Global Transitions Proceedings**, Amsterdam, NL, v.2, n.2, p.212–219, 2021. International Conference on Computing System and its Applications (ICCSA- 2021).

MLADENOVA, T.; VALOVA, I. Performance Study of MySQL and MongoDB for IoT Data Processing and Storage. In: INTERNATIONAL CONFERENCE AUTOMATICS AND INFORMATICS (ICAI), 2022, Varna, BG. **Anais...** IEEE, 2022. p.60–63.

MUHAMMAD, S.; UMAR, M. M.; KHAN, S.; ALRAJEH, N. A.; MOHAMMED, E. A. Honesty-Based Social Technique to Enhance Cooperation in Social Internet of Things. **Applied Sciences**, Basel, CH, v.13, n.5, p.2778, 2023.

NASIRAHMADI, A.; HENSEL, O. Toward the Next Generation of Digitalization in Agriculture Based on Digital Twin Paradigm. **Sensors**, Basel, CH, v.22, n.2, 2022.

NEMLAHA, E.; STŘELEČ, P.; HORÁK, T.; KOVÁČ, S.; TANUŠKA, P. Suitability of MQTT and REST Communication Protocols for AIoT or IIoT Devices Based on ESP32 S3. In: SILHAVY, R.; SILHAVY, P.; PROKOPOVA, Z. (Ed.). **Software Engineering Application in Systems Design**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p.225–233.

OUAFIQ, E. M.; SAADANE, R.; CHEHRI, A. Data Management and Integration of Low Power Consumption Embedded Devices IoT for Transforming Smart Agriculture into Actionable Knowledge. **Agriculture**, Basel, CH, v.12, n.3, 2022.

PICONE, M.; MAMEI, M.; ZAMBONELLI, F. A Flexible and Modular Architecture for Edge Digital Twin: Implementation and Evaluation. **ACM Trans. Internet Things**, New York, NY, US, dec 2022.

PLIATSIOS, A.; LYMPERIS, D.; GOUMOPOULOS, C. S2NetM: A Semantic Social Network of Things Middleware for Developing Smart and Collaborative IoT-Based Solutions. **Future Internet**, Basel, CH, v.15, n.6, 2023.

PREUSS, F.; PEREVOZKINA, Y. M. Interconnection and types of social relations of role socialization system formation: metasystem approach. **Systems Psychology and Sociology**, Novosibirsk, Russia, p.5, 2020.

RAJENDRAN, S.; JEBAKUMAR, R. Object Recommendation based Friendship Selection (ORFS) for navigating smarter social objects in SloT. **Microprocessors and Microsystems**, Amsterdam, NL, v.80, p.103358, 2021.

RAY, M. P. FLUTTER IN SMART ENERGY METERING. **Intelligent Electrical Systems**, Longon, UK, p.38, 2023.

ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation: Progress and grand challenges. **Journal of Simulation**, Longon, UK, v.14, n.1, p.1–20, 2020.

ROOPA, M.; BUYYA, R.; VENUGOPAL, K.; IYENGAR, S.; PATNAIK, L. DRCM: dynamic relationship creation and management in social internet of things. **International Journal of Intelligent Internet of Things Computing**, Geneva, CH, v.1, n.3, p.200–229, 2021.

SAGAR, S.; MAHMOOD, A.; SHENG, M.; ZAIB, M.; ZHANG, W. Towards a Machine Learning-Driven Trust Evaluation Model for Social Internet of Things: A Time-Aware Approach. In: **MOBIQUITOUS 2020 - 17TH EAI INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE AND UBIQUITOUS SYSTEMS: COMPUTING, NETWORKING AND SERVICES**, 2021, New York, NY, US. **Anais...** Association for Computing Machinery, 2021. p.283–290. (MobiQuitous '20).

SAXENA, N.; KUMBHAR, F. H.; ROY, A. Exploiting Social Relationships for Trustworthy D2D Relay in 5G Cellular Networks. **IEEE Communications Magazine**, New York, NY, US, v.58, n.2, p.48–53, 2020.

SHI, Y. Link Analysis. In: **Advances in Big Data Analytics: Theory, Algorithms and Practices**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. p.433–475.

VAN ROSSUM, G. The Python Language Reference. **Python Software Foundation**, Fredericksburg, Virginia, US, 2023.

XIAO, Y.; WATSON, M. Guidance on conducting a systematic literature review. **Journal of Planning Education and Research**, Longon, UK, v.39, n.1, p.93–112, 2019.

ZANNOU, A.; BOULAALAM, A. et al. Relevant node discovery and selection approach for the Internet of Things based on neural networks and ant colony optimization. **Pervasive and Mobile Computing**, Amsterdam, NL, v.70, p.101311, 2021.

ZHANG, H.; ZHU, L.; DAI, T.; ZHANG, L.; FENG, X.; ZHANG, L.; ZHANG, K. Smart object recommendation based on topic learning and joint features in the social internet of things. **Digital Communications and Networks**, Amsterdam, NL, v.9, n.1, p.22–32, 2023.

ZHANG, H.; ZHU, L.; DU, H.; ZHANG, L.; ZHANG, K.; YAN, Y.; WANG, C. Structural Balance of Social Internet of Things Networks with Ambiguous Relationships. **Wireless Communications and Mobile Computing**, London, UK, v.2021, 2021.

ZIA, K.; AL MASKARI, S.; SAINI, D. K.; MUHAMMAD, A.; FAROOQ, U. A Simulation Model Demonstrating the Impact of Social Aspects on Social Internet of Things. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION INTEGRATION AND WEB-BASED APPLICATIONS & SERVICES, 21., 2020, New York, NY, US. **Proceedings...** Association for Computing Machinery, 2020. p.202–211. (iiWAS2019).