



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E MATEMÁTICA APLICADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO
MESTRADO ACADÊMICO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO



Throttling como alternativa para incremento da Disponibilidade em Energy Drive IoT

Paulo Henrique de Queiroz Lopes

Natal-RN
Fevereiro de 2024

Paulo Henrique de Queiroz Lopes

**Throttling como alternativa para incremento da
Disponibilidade em Energy Drive IoT**

Qualificação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sistemas e Computação do Departamento de Matemática Aplicada da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Sistemas e Computação.

Linha de Pesquisa:

Sistemas Integrados e Distribuídos

Orientador

Prof. Dr. Gibeon Soares de Aquino Junior

UFRN – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

DIMAP – DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E MATEMÁTICA APLICADA

CCET – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

PPGSC – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO

Natal-RN

Fevereiro de 2024

Qualificação de Mestrado sob o título *Throttling como alternativa para incremento da Disponibilidade em Energy Drive IoT* apresentada por Paulo Henrique de Queiroz Lopes e aceita pelo Programa de Pós-graduação em Sistemas e Computação do Departamento de Informática e Matemática Aplicada da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, sendo aprovada por todos os membros da banca examinadora abaixo especificada:

Prof. Dr. Gibeon Soares de Aquino Junior
Orientador
Departamento de Informática e Matemática Aplicada
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Título e nome do professor
Examinador
SIGLA – Instituição
SIGLA – Instituição

Título e nome do professor
Examinador
SIGLA – Instituição
SIGLA – Instituição

Título e nome do professor
Examinador
SIGLA – Instituição
SIGLA – Instituição

Texto de dedicatória. asdasdasdasdas

Agradecimentos

Agradeça a quem você desejar e da forma que você desejar. Este espaço pertence ao aluno e deve ter sua livre expressão de gratidão a quem desejar.

“Not all those who wander are lost.”

J. R. R. Tolkien

Throttling como alternativa para incremento da Disponibilidade em Energy Drive IoT

Autor: Paulo Henrique de Queiroz Lopes

Orientador: Prof. Dr. Gibeon Soares de Aquino Junior

Resumo

resumo do trabalho em português.

Palavras-chave: palavra_1; palavra_2; palavra_3.

Research Title in English

Author: Aluno da Silva

Supervisor: Título e nome do seu orientador

Abstract

Research abstract fully in English.

Keyword_s: Word_1; Word2; Word_n.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Diagrama de blocos subsistema energético para operação neutro-energética.	17
Figura 2 – Dinâmicas de operação com coleta de energia	17
Figura 3 – Throttling aplicado sobre operação B.	20
Figura 4 – Processo <i>Snowballing</i>	24
Figura 5 – Resultado das Iterações <i>Snowballing</i>	25
Figura 6 – PENSANDO SE VALE APRESENTAR GRAFO COM A a rastreabilidade dos trabalhos aqui.	26
Figura 7 – Melhorar essa figura com a distribuição dos trabalhos	28
Figura 8 – Divisão Base da Taxonomia	30
Figura 9 – Visão Geral da Taxonomia.	30
Figura 10 – Throttling:Atuação.	37
Figura 11 – Processo de Estudo Experimental.	44
Figura 12 – Dinâmica do fornecimento energético Dispositivo Provedor.	47
Figura 13 – Máquina de estados do Dispositivo.	48
Figura 14 – Componentes do dispositivo Provedor.	52
Figura 15 – Coleta e visualização da Execução do Experimento.	55
Figura 16 – Dashboard para visualização dos resultados.	55
Figura 17 – Entradas fornecidas ao storage dos dispositivos.	58
Figura 18 – Quantidade de solicitações atendidas por dispositivo.	59
Figura 19 – Recorte do comportamento da oferta e uso dos recursos durante execução.	60
Figura 20 – Aqui vou colocar uma figura para isolar o comportamento do no-throttling.	62
Figura 21 – Comparação comportamento das estratégias de throttling aplicadas. . .	62

Lista de tabelas

Tabela 1	–	<i>Snowballing</i> : Critérios de Exclusão.	24
Tabela 2	–	Trabalhos observados.	27
Tabela 3	–	Valores ofertados por ciclo	50
Tabela 4	–	Modos de Operação dos Dispositivos.	53
Tabela 5	–	Instanciação taxonômica dos dispositivos.	56
Tabela 6	–	Expectativa de atendimento das solicitações (<i>sol</i>) por ciclo (<i>c</i>)	57
Tabela 7	–	Solicitações realizadas	59
Tabela 8	–	Quadro das solicitações realizadas aos dispositivos	60

Lista de Abreviaturas

EDC *Energy-Driven Computing*

EHS *Energy Harvesting System*

EN *Energy-Neutral Operation*

ICS *Intermittent Computing Systems*

IoT *Internet of Things*

PNO *Power-Neutral Operation*

QoS *Quality of Service*

RFID *Radio Frequency IDentification*

SLA *Service Level Agreement*

WSN *Wireless Sensor Networks*

Sumário

	Sumário	11
	Capítulo 1	13
1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Aqui vai uma seção da Introdução	13
1.2	Sobre o L^AT_EX	13
	Capítulo 2	13
2	CONCEITOS RELACIONADOS	14
2.1	Internet das Coisas	14
2.2	Computação Dirigida à Energia	16
2.2.1	Operações Neutra-Energética	16
2.2.2	Operação Neutra-Potencia	18
2.2.3	Operação Intermitente	18
2.3	Throttling: Padrão de Comportamento em Ambientes Distribuídos	19
2.3.1	Considerações	20
2.4	Taxonomia	21
2.5	Considerações Finais	22
	Capítulo 3	22
3	REVISÃO DO ESTADO DA ARTE	23
3.1	Protocolo	23
3.1.1	Critérios de inclusão e exclusão	23
3.1.2	Processo	24
3.2	Resultados	26
3.3	Considerações	28
	Capítulo 4	28
4	TAXONOMIA	29
4.1	Organização	29
4.2	Taxonomia Proposta	31
4.3	Agentes IoT	31
4.3.1	Dispositivo Provedor	31
4.3.2	Dispositivo Cliente	32

4.4	Operações	32
4.5	Recursos Energéticos	32
4.5.1	Capacidade de Coleta	33
4.5.2	Capacidade de Armazenamento	35
4.6	<i>Throttling</i>	36
4.6.1	Atuação	36
4.6.2	Motivadores	41
Capítulo 5		42
5	GUIDELINES	43
Capítulo 6		43
6	ESTUDO EXPERIMENTAL	44
6.1	Metodologia	44
6.2	Idealização	46
6.3	Definição das Variáveis Independentes	49
6.4	Definição dos Dispositivos	52
6.5	Instrumentalização	54
6.6	Execução	56
6.7	Avaliação dos Resultados	57
6.7.1	Descrição dos Dados Coletados	58
6.7.2	Interpretação dos Resultados	61
6.7.3	Limitações do Estudo	63
Capítulo 7		63
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
7.0.1	Implicações	64
7.0.2	Direções Futuras	64
	REFERÊNCIAS	65
	ANEXOS	70

1 Introdução

Neste capítulo serão colocados textos de exemplo ou indicações para a *contrução* de uma Dissertação de mestrado em LaTeX. Uma parte será voltada à estrutura do documento e questões específicas relacionadas à ciência, e outra será dedicada a comandos simples e “tricks” usados na construção do meu documento original.

Todo este template é apenas uma modularização e tentativa de simplificação do modelo disponível em <https://github.com/abntex/abntex2/wiki/Download>. Caso eu esqueça ou algum detalhe passe em branco, a dissertação inteira está disponível em <https://v1.overleaf.com/read/gpkgdnttndgf>.

1.1 Aqui vai uma seção da Introdução

1.2 Sobre o \LaTeX

Como os dispositivos IoT energy driven podem ser categorizados em uma taxonomia eficaz com base em suas características de consumo de energia?

Quais são as estratégias de throttling mais de acordo com o papel realizado pelos dispositivos IoT energy driven e como elas podem ser aplicadas de forma eficaz?

Quais são os principais desafios e oportunidades associados à implementação da taxonomia proposta em função da aplicação de throttling em IoT energy driven?

2 Conceitos Relacionados

Este capítulo aborda os conceitos e técnicas que proporcionam a compreensão dos capítulos a seguir. A Seção 2.1, apresenta a visão geral sobre Redes IoT e dispositivos que compõe o alvo das iniciativas propostas. A Seção 2.2 introduz o conceito da computação dirigida aos fatores energéticos, tema originador do trabalho. Por sua vez, na Seção 2.3 encontram-se os conceitos ligados ao padrão throttling, seus objetivos e aplicação. Os fundamentos para o uso de um modelo taxonômico estão apresentados na Seção 2.4. Ao fim, na Seção 2.5 estão descritas as considerações ao capítulo.

2.1 Internet das Coisas

O termo IoT - Internet das Coisas (*Internet of Things*), foi proposto inicialmente por ASHTON (1999), e descreve a capacidade de objetos físicos estarem interconectados por meio da internet, viabilizando seus processos de coleta e compartilhamento de dados. Atualmente, a quantidade de dispositivos interconectados cresce diariamente em números impressionantes apresentados no relatório *Ericsson Mobility Report* (ERICSSON, 2024) uma breve observação da vida diária comprova que nunca tivemos tantos dispositivos inteligentes ao nosso redor, com diversas projeções sendo criadas a respeito da quantidade de elementos interconectados.

Possibilitando a comunicação entre dispositivos, redes inteligentes podem ser controladas remotamente e automatizadas para realizar tarefas específicas. Essas características favorecem uma variedade de aplicações, incluindo monitoramento, gerenciamento de recursos, saúde digital, cidades inteligentes, agricultura de precisão, e o desenvolvimento de novas aplicações (MIORANDI et al., 2012; ASGHARI; RAHMANI; JAVADI, 2019).

No entanto, com essa capacidade aprimorada, novos desafios são encontrados à medida que novas aplicações aproveitam suas potencialidades, resultando em soluções mais amplas e aprimoradas a passo que crescem em complexidade. Por exemplo, o aumento do número de dispositivos interconectados exige uma abordagem mais sofisticada para gerenciamento e segurança em decorrência da massiva quantidade de dados gerados e compartilhados, em paralelo, a interoperabilidade dos sistemas atinge maior importância à medida que o ecossistema das Redes IoT se expande.

Na revisão proposta em (ASGHARI; RAHMANI; JAVADI, 2019), podemos caracterizar os elementos presentes na IoT, e, entre outros fatores, de acordo com as seguintes capacidades:

1. Capacidade de auto-adaptação: Dispositivos e sistemas IoT precisam ser capazes de dinamicamente adaptar-se mudando seu contexto e tomando ações motivadas nas suas condições de operação e contexto de uso. Considerando um sistema de monitoramento de ambientes com câmeras, estas podem adaptar seu modo de operação (com e sem iluminação suficiente) baseando se está de dia ou noite (DOUMENIS; MASKLAVANOS; TSIAPALI, 2022).
2. Capacidade de auto-configuração: Dispositivos carregam a capacidade de auto configuração, permitindo que dispositivos atuem em conjunto para prover alguma funcionalidade. Estes podem configurar a si mesmo (associado a infraestrutura provida).
3. interoperabilidade entre protocolos: Dispositivos IoT podem suportar diversos protocolos de comunicação com outros elementos e infraestrutura.
4. Consciência de Contexto: Uma vez imerso no meio físico, dispositivos podem adquirir conhecimento a respeito das características que o cerca. As decisões tomadas posteriormente podem levar em consideração esses aspectos (YANG et al., 2014).

Neste quesito, os aspectos ligados aos fatores energéticos também se destacam, sobretudo quando estão relacionados aos desafios de manter dispositivos operando eficientemente e de maneira sustentável (ALBREEM et al., 2017). Questões ligadas a eficiência energética, autonomia e a busca de fontes alternativas de suprimento energético bem como a capacidade dos dispositivos em lidar com tais fatores são pontos fundamentais a se pensar.

Restrições energéticas permanecem como um dos principais temas, desafio que afeta a performance e disponibilidade de elementos nas redes IoT. Atualmente, as soluções mais promissoras para tal são os esforços na gerencia de energia (SINGH; KAUR; SINGH, 2020). Em alguns cenários, a solução mais adequada para estas questões passa pela ação de coletar energia do meio onde o dispositivo esta inserido. Segundo (KANSAL et al., 2007), um *Energy Harvesting System* (EHS) ou Sistema de Coleta Energética é o dado sistema complexo capaz de captar energia do ambiente que se encontram convertendo para seu uso.

Desde modo, dispositivos encontrados em tal cenário carregam em suas características fundamentais a necessidade de lidar com os aspectos energéticos, como proposto por KANSAL et al. (2007). Sobretudo com a capacidade de coleta energética, algumas estratégias podem ser tomadas com base nas características embarcadas nos dispositivos, pois em tal cenário precisam ser projetados com a capacidade de autoadaptação, permitindo ajustar-se dinamicamente em acordo com as condições encontradas, demandas operacionais e oferta energética. A consciência de contexto aqui permite a eles compreender e responder

às mudanças no ambiente circundante, adaptando-se ou reconfigurando-se proativamente para operar adequadamente frente as condições encontradas. Essas capacidades combinadas com seu sistema de coleta de energia habilita que dispositivos IoT possam gerenciar seus aspectos energéticos de maneira inteligente e responsiva, otimizando seu desempenho enquanto minimizam o consumo de energia buscando perpetuar-se disponível, desde que projetado para tal, contribuindo sobretudo para eficiência geral dos sistemas IoT.

2.2 Computação Dirigida à Energia

Um sistema dirigido à energia (*Energy-Driven Computing (EDC)*) é todo aquele que os fatores energéticos intrínsecos a ele são tratados como primários, desde concepção, gerenciamento e sua operação (MERRETT; AL-HASHIMI, 2017). Computação dirigida a estes fatores, ditos energéticos, deve considerar fundamentalmente a disponibilidade energética pois precisam carregar a capacidade de adaptação as dinâmicas de captação de energia. Este paradigma tem como objetivo evidenciar as características energéticas, em potencial a respeito de dispositivos que por quaisquer motivos, não podem estar conectados diretamente em uma infraestrutura capaz de fornecer energia virtualmente ilimitada.

Para tal, caso necessário, dispositivos podem operar coletando recursos disponíveis no ambiente. Coleta de energia refere-se a capacidade de um dispositivo em capturar e converter recursos energéticos do meio e converte-los de modo a prolongar sua vida útil mitigando um cenário de escassez energética (SUDEVALAYAM; KULKARNI, 2011).

Ainda, no trabalho de SLIPER et al. (2020) é importante destacar como os mecanismos de coleta energética e sua dinâmica são dispostos. É proposto uma organização em três mecanismos distintos: Operação Neutra-Energética, Operação Neutra-Potencia e Operação Intermitente.

2.2.1 Operações Neutra-Energética

Uma operação neutra-energética (*Energy-Neutral Operation*) cobre as dinâmicas dos sistemas com coleta de energia do ambiente por meio de um *buffer*, uma bateria recarregável ou super capacitor capaz de armazenar parte da energia coletada (KANSAL et al., 2007). Este recurso se encontra disposto entre a entrada energética e sua demanda, atuando secundariamente quando a energia disponibilizada não seria suficiente para manter seus critérios de qualidade de serviço *QoS*.

Apesar de inicialmente ser previsto um cenário de uso onde apenas a fonte energética e o dispositivo estivessem presentes, é comum o fato dos mecanismos que buscam esse tipo de operação recorrer a presença deste componente intermediário capaz de armazenar energia e disponibiliza-la para uso. Sendo assim, na Figura 1 temos a visão geral em blocos de um subsistema responsável pelos recursos energéticos.

Figura 1 – Diagrama de blocos subsistema energético para operação neutro-energética.

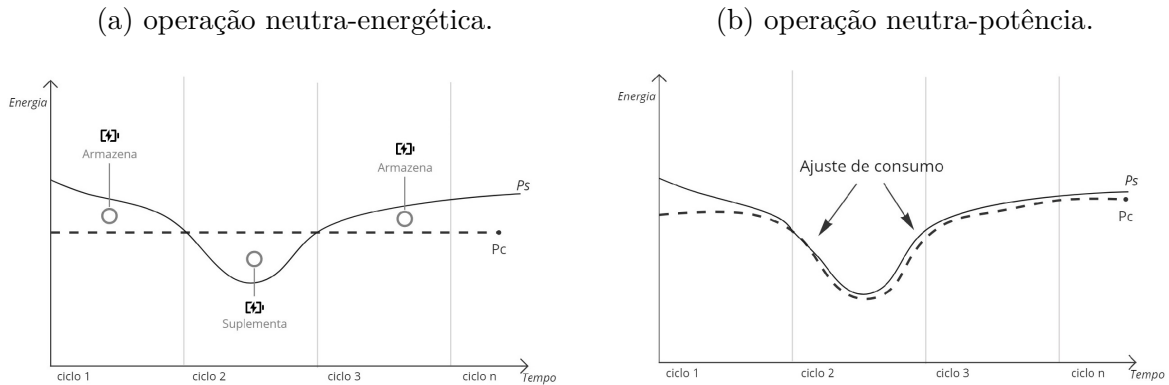


Fonte: adaptado de SUDEVALAYAM; KULKARNI (2011)

A visão do cenário acima proporciona ao dispositivo a capacidade de manter seus níveis de operação, abstraindo em algum nível as variações de energia coletada. Pois seja $P_s(t)$ a entrada energética em dado momento e $P_c(t)$ a energia consumida nos ciclos de carga, é possível encontrar a dinâmica apresentada na Figura 2a, em momento de abundancia energética o dispositivo pode armazenar a energia que supera a quantidade necessária para sua operação em decorrência de que em momentos de escassez, possa fazer uso dessa energia suplementando sua necessidade.

Operações neutro-energéticas carregam dois princípios que são apresentados no trabalho seminal (KANSAL et al., 2007): Manter-se operacional mesmo em cenários onde a quantidade de energia coletada fosse durante muito tempo, inferior ao necessário e como garantir que, encontrado em um ambiente de coleta seja possível obter performance esperada tolerando variações da energia coletada.

Figura 2 – Dinâmicas de operação com coleta de energia



Fonte: elaborado pelo autor.

Sendo assim, uma operação neutro-energética implica em manter sua performance durante os ciclos de trabalho garantindo que o dispositivo não sofra por esgotamento energético. Busca-se perpetuar sua operação mediante uso da reserva energética ou adaptação motivada a expectativa de recurso futuro (SUDEVALAYAM; KULKARNI, 2011). Desta forma, o dispositivo favorecido pode prolongar sua operação mesmo em decorrência da indisponibilidade ou insuficiência de fonte energética.

É importante destacar que este modo de operação serviu como base para diversos avanços em computação dirigida a energia sobretudo em redes constituídas tipicamente com sensores embarcados, autônomos e distribuídos espacialmente, *Wireless Sensor Networks* (WSN). Além disso, os conceitos de operação-neutra e a teoria de coleta energética

foram fundamentais para o que posteriormente foi detalhado em referencia ao seminal (MERRETT; AL-HASHIMI, 2017), introdutório ao modo de operação neutra-potencia (*Power-Neutral Operation*).

2.2.2 Operação Neutra-Potencia

A capacidade de um dispositivo em coletar energia do ambiente apresenta diversos desafios, especialmente em relação ao processo de coleta, transformação e uso, bem como à previsibilidade da oferta de energia. A abordagem ilustrada na Figura 1 é típica de um sistema que utiliza um *buffer* intermediário com o objetivo de operar semelhante a um sistema tipicamente alimentado por uma reserva energética intermediária, onde as condições energéticas são resumidas considerando a condição da reserva disponível. No entanto, em muitos casos, os componentes adicionais necessários para garantir essas características aumentam custos, volume e complexidade, podendo resultar em comportamento não confiável se mal projetados.

De acordo com MERRETT; AL-HASHIMI(2017), os esforços para projetar sistemas com capacidade de coleta de energia devem considerar casos onde não é possível incluir um componente de armazenamento energético intermediário. Portanto, os sistemas nessas condições devem buscar ter suas operações neutra-potencia (*Power-Neutral Operation*), conforme ilustrado na Figura 2b.

A operação neutra-potencia envolve adaptar o consumo de energia do dispositivo para manter sua operação de acordo com os recursos disponíveis, minimizando ou até mesmo eliminando a necessidade de armazenamento intermediário de energia (SLIPER et al., 2020). No entanto, é importante observar que, caso a energia coletada for inferior ao mínimo necessário, o dispositivo entrará em um estado de esgotamento, podendo hibernar caso caracterizado por uma abordagem intermitente (MERRETT; AL-HASHIMI, 2017).

2.2.3 Operação Intermitente

Uma operação intermitente não deixa transparente aos dispositivos os efeitos da dinâmica nos processos de coleta de energia, permitindo que os sistemas lidem diretamente com esgotamento energéticos frequentes ou imprevisíveis. Ao arquivar seu estado não volátil através dos ciclos de fornecimento energético, os sistemas de computação intermitente (*Intermittent Computing Systems*) permitem que dispositivos avancem incrementalmente sempre que seus fatores energéticos esgotados sejam estabelecidos.

Um dispositivo que opera intermitentemente possibilita uma vida útil teoricamente ilimitada com custo baixo e pouco impacto ambiental, especialmente em relação a adoção de *buffer* energéticos intermediários (SLIPER et al., 2020). Todavia, a qualidade de serviço (*Quality of Service*) muitas vezes é sacrificada pois, ICS não podem ser considerados, por

definição, continuamente operacionais.

2.3 *Throttling*: Padrão de Comportamento em Ambientes Distribuídos

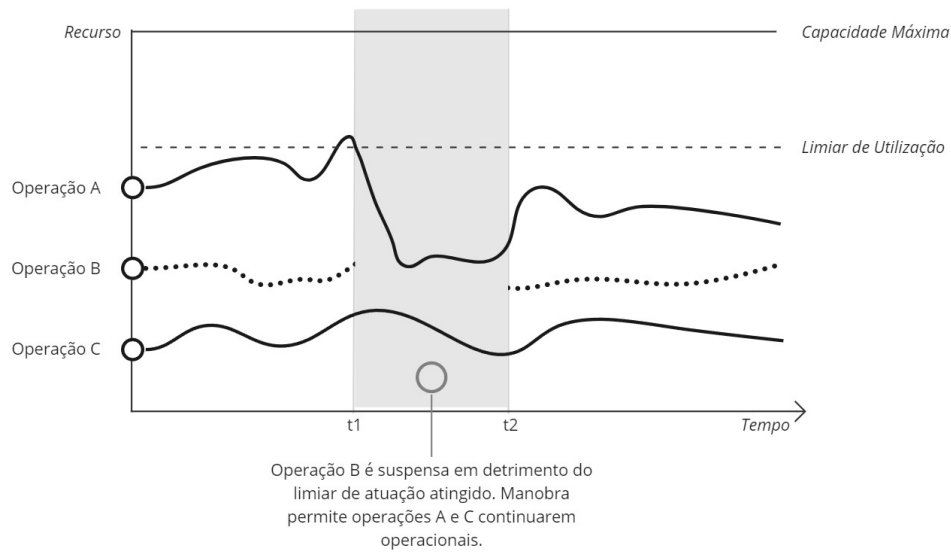
Como ponto de partida, é preciso destacar a importância da adoção dos ditos padrões de comportamento (*behavior patterns*), especialmente aplicados em sistemas distribuídos. Tais soluções carregam aspectos intrínsecos à experiência adquirida mediante a recorrência de soluções frente à heterogeneidade de problemas que corrigem, formando o conjunto de atuação onde um ou mais padrões de solução emergem como resposta. Endossado pelo trabalho de BURNS (2018) e no cenário de computação distribuída, é observado que apesar da diversidade de possibilidades para um sistema qualquer, a maneira como é concebido, desenvolvido, bem como, os problemas encontrados sobretudo quanto aspectos não funcionais como escalabilidade, confiabilidade ou disponibilidade são notavelmente encontrados de forma semelhante e recorrente.

O propósito de adotar o padrão *Throttling* é fazer com que dado sistema alvo mantenha seus níveis de consumo abaixo de um determinado limiar. Assim, conservando seus recursos disponíveis que de outra forma seriam disponibilizados para solicitantes excessivamente demandantes. Além de proteger-se do comportamento inadequado dos agentes envolvidos, é preciso ter em mente que eventualmente um sistema pode encontrar-se tendo de lidar com picos de operações, cenário propício a falhas ou até mesmo interrupção integral do serviços.

Ambientes IoT representam um domínio onde esse padrão pode ser bastante necessário dado a dinâmica de dispositivos desconhecidos e novos sistemas que podem ser adicionados a um ambiente. *Throttling* pode ser implementado segundo algumas estratégias elencadas por MARTINEKUAN (2019):

- Rejeitando requisições de um agente excessivamente solicitante.
- Desabilitando ou degradando componentes ligados a operações menos essenciais.
- Estabelecendo níveis de prioridade para os agentes solicitantes, onde requisições de níveis menos prioritários podem ser suspensas ou limitadas em detrimento de outra com mais privilégio, durante algum tempo, conforme Figura 3.

Figura 3 – Throttling aplicado sobre operação B.



Fonte: adaptado de MARTINEKUAN (2019)

2.3.1 Considerações

Assim como outros padrões aplicados a sistemas distribuídos, existem uma série de considerações a serem tomadas mediante a decisão de implementar um mecanismo de throttling, MARTINEKUAN (2019) aponta alguns tópicos que possibilitam a análise de conformidade face aos problemas e necessidades ao adotar o padrão.

Utilizar mecanismos de *throttling* passam por decisões arquiteturais de como o dispositivo vai se comportar. Por isso, deve-se levantar primariamente seu uso nos estágios iniciais de concepção do dispositivo ou sistema. Um vez estabelecido, caso limiar de atuação seja atingido, os mecanismo de throttling deve ser implementados em conformidade, sua ação deve ser pertinente ao momento mas uma vez restabelecido ao seu estado regular de atuação, deverá permitir alívio nas restrições impostas às capacidades do dispositivo.

Adicionalmente, conforme atuação do *throttling* é interessante exercer algum padrão sobre os retornos da solicitações negadas motivadas pela ação do limitador, criando um cenário onde o agente que teve suas solicitações limitadas consiga decidir quanto a realizar novas solicitações ou aguardar momento oportuno.

Dispositivos capazes de adaptar-se mediante quaisquer fatores devem ter seu comportamento refletido de maneira contundente no mecanismo de limitação, preferencialmente em tempo de execução. Pois, um cenário intolerável, amparado por uma condição do dispositivo pode ser considerado erroneamente tolerado, caso atuação do *throttling* atrase tempo suficiente que não faça sentido sua atuação mediante mudança de caso.

2.4 Taxonomia

Uma taxonomia refere-se a um sistema de classificação e organização. Seu modelo consiste em sistematicamente apresentar os elementos de um campo de estudo, categorizados e por conseguinte classificados de modo a apresentar os elementos dispostos em estrutura adequada.

O mapeamento sistemático apresentado por USMAN et al. (2017), trata dos métodos e da aplicação de taxonomias em campos da engenharia de software. O procedimento classificação define como as instâncias de um tema podem ser atribuídos a classes ou categorias. Para uma taxonomia, tais elementos podem estar relacionados e dependentes entre si. Por sua vez, é possível classificar de duas maneiras: Quantitativamente, onde os procedimentos de classificação são baseados em escalas numéricas ou Qualitativa onde uma escala nominal que expresse a categoria será utilizada. Sua estrutura, poderá ser dividida em quatro visões de descobrimento do conhecimento (KWASNIK, 1999), sendo elas:

- Hierárquica, aqui a taxonomia é estruturada como uma única classe superior (super-classe) que abrange suas subclasses e sequencialmente as possíveis extensões destas, formando um encadeamento hierárquico entre os elementos desde o originário até os derradeiros derivados. Este modelo procura garantir a exclusão mutua entre os envolvidos além do aspecto de relacionamento hereditário, por isso não é recomendado em situações onde uma pesquisa precisa incluir múltiplos e diversos critérios de diferenciação. Por fim, o autor considera que para esta representação é mandatório bom conhecimento sobre o assunto a ser classificado., pois suas classes e critérios de separação precisam ser conhecidos desde o início.
- Árvore similar ao modelo hierárquico, todavia em uma estrutura árvore não existe um relacionamento do tipo herança. Aqui, o tipo de classificação que busca-se é a relação causa-efeito, processo-produto ou parte-todo. Pode-se usar a estrutura arvore para mostrar a decomposição de um tema em seus aspectos. Por exemplo, a representação em árvore parte-todo do relacionamento entre um país, seus estados e por fim, municípios. Estruturas árvores e hierárquicas compartilham das mesmas limitações.
- Paradigma, conduz a taxonomia para a capacidade de um relacionamento bi-direcional entre as classes estas, por sua vez, podem ser descritas pela combinação de dois atributos. Uma proposta de visualização para taxonomias desse tipo é a capacidade de expressar-se com matrizes bi-dimensionais cujo seus vértices apresentam os atributos de interesse.
- Facetada, esta estrutura taxonômica permite observar os assuntos classificados sob múltiplas perspectivas (facetas). O indicador fundamental em utilizar uma análise

facetada é a necessidade de visualizar mais de uma perspectiva de uma entidade complexa. Cada faceta é independente e pode ter suas próprias classes, permitindo a evolução de cada uma dentro da sua perspectiva. Análise facetada é adequada para campos de conhecimento relativamente novos em constante evolução, dado que não é necessário ter o completo conhecimento do objeto de estudo. Em todo caso, pode ser desafiador encontrar o conjunto inicial de facetas para a taxonomia de modo que sejam independentes e sem aparente relacionamento significativo entre as facetas.

O trabalho (ŠMITE et al., 2014) indica três mecanismos como agentes validadores de uma taxonomia: da demonstração ortogonal de perpendicularidade e dimensões das classes demonstradas; da análise de desempenho (*Benchmarking*), em que a taxonomia pode ser comparada com outros esquemas de classificação similares; por fim, da demonstração de utilidade, validada por estudo de caso ou experimentação.

O entendimento sobre qual visão utilizada para construção de uma taxonomia é crucial, pois impacta diretamente na sobre a maneira como representar classes e interações. Quanto à aplicação prática para Engenharia de Software, ao adotar o uso de uma taxonomia proporciona os agentes facilitadores para atividades de classificar e organizar o conhecimento de uma determinada área (USMAN et al., 2017), auxiliando no desdobramento do objeto de estudo, elucidação e identificação de oportunidades e trabalhos futuros.

2.5 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentado os conceitos relacionados que indicam o apoio teórico necessário para a construção do trabalho. Assim, a Seção 2.1 apresenta uma introdução à IoT em destaque para relação com a problemática das restrições energéticas e os mecanismos de coleta energética. A seguir, na Seção 2.2 são descritos os principais modos de operação para computação dirigida a energia *Energy-Drive Computing*. Posteriormente, Seção 2.3 trás o agente motivador para uso de padrões utilizados em sistemas distribuídos, em específico Throttling, como um artefato adequado para controle de comportamento dos dispositivos mediante mudança de contexto. Por último, a Seção 2.4 destacou os propósitos de uma taxonomia e explicou como essa abordagem pode ser útil para organizar um conhecimento e identificar áreas de pesquisa importantes.

3 Revisão do Estado da Arte

Este capítulo busca compreender o estado da arte e identificar desafios e oportunidades de pesquisa sobre a implementação de mecanismo *throttling*, especialmente no contexto de dispositivos IoT presentes na computação dirigida à energia (*Energy-Driven Computing*). Assim, foi realizada uma pesquisa sobre a aplicação de fatores limitantes e os motivadores da atuação desse mecanismo.

3.1 Protocolo

Para esta revisão, adotaram-se práticas descritas no método apresentado por KITCHENHAM et al. (2009), mas decidiu-se por não utilizar uma revisão sistemática como protocolo. Assim, a captação dos estudos foi realizada através da aplicação da técnica de *snowballing*, que é capaz de expandir a base de referências e viabilizar a identificação de padrões recorrentes, aprofundando a compreensão no tema de estudo.

O processo de *snowballing* é descrito como abordagem iterativa de busca por referências em revisões de literatura (WOHLIN, 2014). Seu método é caracterizado através das iterações onde em cada uma é realizado análise sobre as referências citadas nos artigos seminais (*backward*) e também dos estudos que utilizaram esses artigos como referência (*forward*). Portanto, neste trabalho a abordagem de *snowballing* foi executada em iterações, aplicando ambos os métodos (*backward* e *forward*). Os trabalhos resultantes de cada iteração foram incluídos com base nos critérios de seleção previamente definidos na Subseção 3.1.1.

3.1.1 Critérios de inclusão e exclusão

Tendo em vista a necessidade de realizar filtragem no material encontrado durante iterações, foram adotados critérios de inclusão e exclusão como já previsto no método em (WOHLIN, 2014). Assim, os estudos resultantes foram obtidos com base nos critérios definidos com a intenção de cobrir o maior número de trabalhos relacionados ao tema de pesquisa e ao mesmo tempo evitar os trabalhos com base nos critérios estabelecidos.

Portanto, os critérios de exclusão utilizados podem ser vistos descritivamente na Tabela 1. Estes critérios foram definidos para assegurar que apenas os estudos que se relacionassem com a pesquisa fossem incluídos, evitando artigos segundo os critérios já apresentados.

Tabela 1 – *Snowballing*: Critérios de Exclusão.

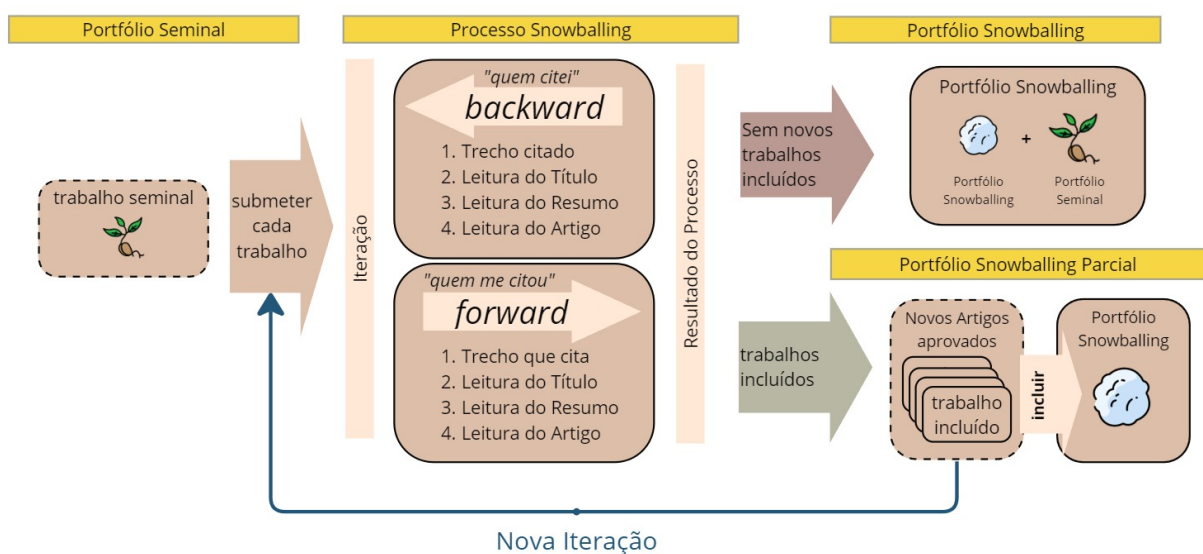
Critério de Exclusão	
CE-1	Não escrito em inglês.
CE-2	Sem aderência aos eixos temáticos.
CE-3	Sem indícios diretos com às questões de pesquisa.
CE-4	Artigos derivações do mesmo autor ou resumo.
CE-5	Tutoriais, Capítulos de livros e Relatórios técnicos (Literatura Cinza).
CE-6	Trabalhos duplicados.
CE-7	Artigos não disponíveis integralmente para leitura.
CE-8	Artigos predecessores à revisão seminal.

Fonte: elaborado pelo autor.

3.1.2 Processo

Para selecionar os estudos que formam a base do trabalho foi utilizada a base bibliográfica SciVerse Scopus ¹. A escolha desta plataforma como fonte de informação foi justificada pela capacidade de indexar os principais repositórios acadêmicos para a área de estudo, dentre elas ACM Digital Library, Elsevier, IEEE Xplore, Springer Link, Web of Science entre outras.

O artigo seminal foi selecionado mediante análise de sua influência, impacto e credibilidade para o campo de pesquisa deste estudo. Portanto, utilizando o artigo como único ponto de partida, segue o processo iterativo *snowballing* conforme estabelecido. As etapas podem ser visualizadas na Figura 4 onde é apresentado a visão completa do processo e ações determinadas.

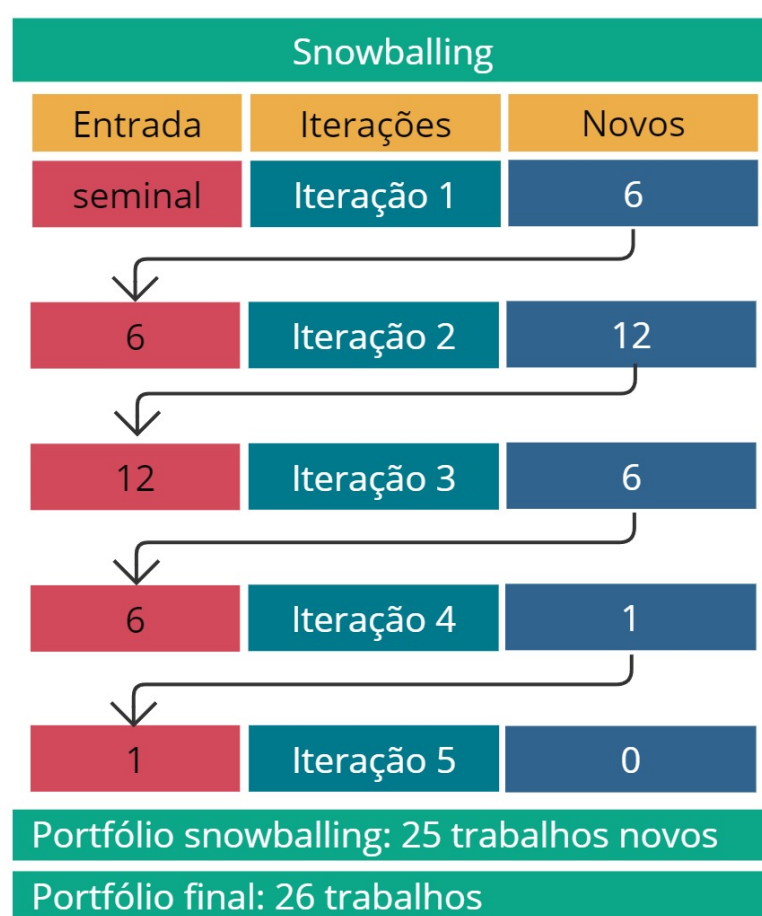
Figura 4 – Processo *Snowballing*.

Fonte: elaborado pelo autor.

¹ Plataforma acessível em: <<https://www.scopus.com/>>

Em cada iteração, são realizadas ações com o objetivo de selecionar os trabalhos considerados relevantes para o estudo. Essas, partem da análise da leitura da parte do texto que foi citado quando em *backward* ou a leitura do trecho que cita quando em *forward*, além da leitura do título, resumo e por fim, da leitura integral do trabalho. Assim, ao passo que finalizada interação, teremos os novos artigos que servem como entrada para iteração seguinte. Caso uma iteração finalize sem nenhum novo trabalho adicionado, conclui-se o processo *snowballing*, os resultados são unidos ao artigo seminal em composição ao portfólio final obtido. A Figura 6 apresenta o processo de seleção dos trabalhos avaliados.

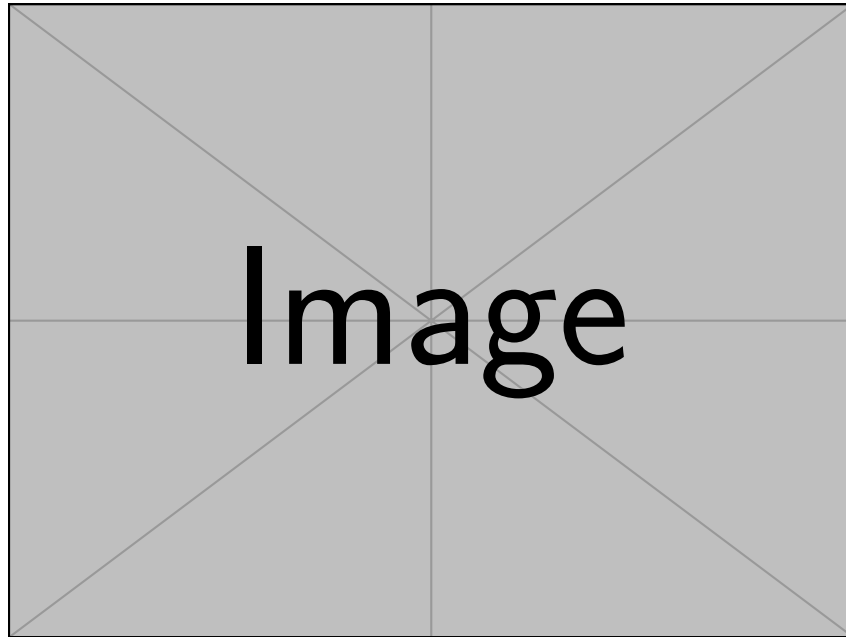
Figura 5 – Resultado das Iterações *Snowballing*.



Fonte: elaborado pelo autor.

A dinâmica de inclusão e filtragem de trabalhos relacionados, proporcionou visitar ao todo 1171 trabalhos por método *backward*, além de 3597 trabalhos por *forward* gerando uma cobertura total de 4768 artigos alcançados. É previsto durante o *snowballing* proporcionar rastreabilidade na inclusão dos trabalhos. A Figura apresenta esta característica enquanto proporciona visão sobre os trabalhos mencionados.

Figura 6 – PENSANDO SE VALE APRESENTAR GRAFO COM A rastreabilidade dos trabalhos aqui.



Fonte: elaborado pelo autor.

Finalmente o processo Snowballing proporcionou a criação do portfólio total de artigos composto por 26 trabalhos que serviram como base para o estudo, os resultados obtidos estão descritos na Seção `refcap3:resultados`.

3.2 Resultados

Foi característico ao portfólio de trabalhos selecionados a apresentação do leitor aos desafios ligados à como os agentes **IoT** com capacidade de coleta de energia, realizam suas funções em detrimento do cenário de restrições energéticas. É recorrente a presença dos mecanismo de ajuste do comportamento dos dispositivos mediante observação de termos que auxiliam ao processo de tomada de decisão sobre como o dispositivo deve atuar diante de um ou outro cenário encontrado.

A lista de artigos pode ser visualizado totalmente na Tabela 2, aqui uma visão geral dos trabalhos selecionados pode ser obtida. Todavia, um ponto de destaque é que mesmo os cenários de atuação com uma abordagem transiente, como apresentados por Merrett e Al-Hashimi (2017) e Sliper et al. (2020), ainda mantem a necessidade de mecanismos para limitação de gasto energético quando ocorrem os processos de ajuste a potencia energética administrada ao dispositivo.

Após análise dos artigos, classifica-se os trabalhos em relação as práticas adotadas para contornar o desafios de adequar seu funcionamento à suas restrições energéticas. Sendo assim, os trabalhos foram classificados em dois grupos: aqueles que abordam estratégias

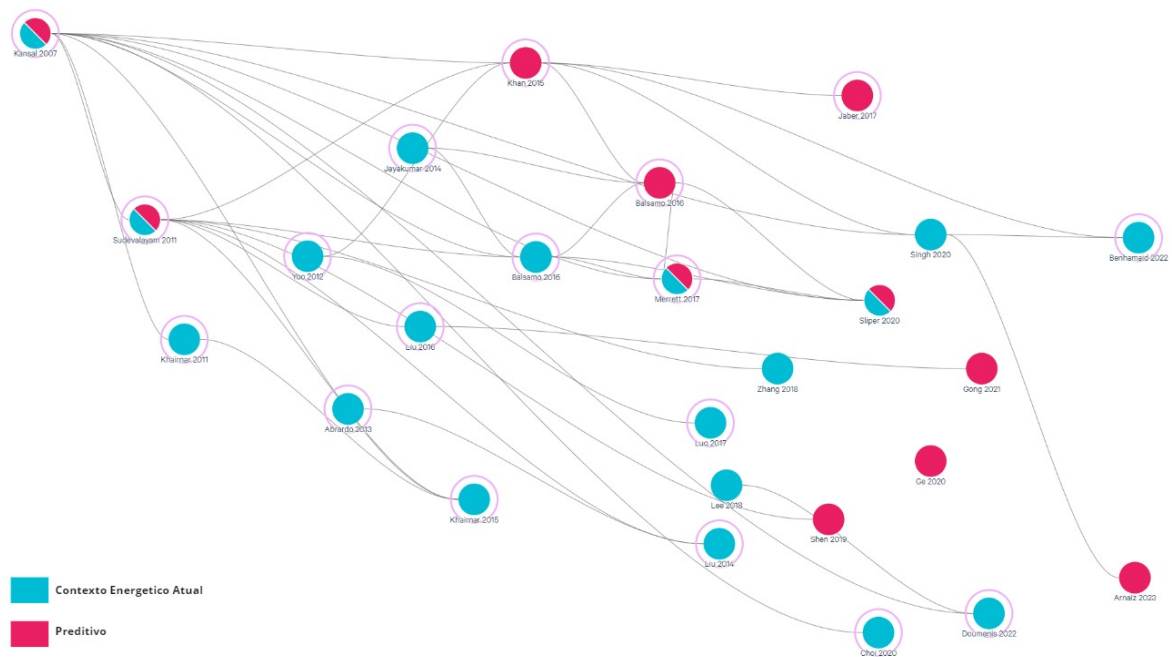
Tabela 2 – Trabalhos observados.

ID	Titulo	Tipo
SB0-0001	Power Management in Energy Harvesting Sensor Networks	Periódico
SB1-0001	Energy-Driven Computing: Rethinking the Design of Energy Harvesting Systems	Conferência
SB1-0002	Lightweight operation scheduling for self-powered IoT devices	Conferência
SB1-0003	Adaptive operating mode management model for efficient energy harvesting systems	Periódico
SB1-0004	Energy Management in Wireless Sensor Networks: A Survey	
SB1-0005	Discrete-Rate Adaptation and Selection in Energy Harvesting Wireless Systems	
SB1-0006	Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications	
SB2-0001	Energy-driven computing	
SB2-0002	Hibernus++: A Self-Calibrating and Adaptive System for Transiently-Powered Embedded Devices	
SB2-0003	Graceful Performance Modulation for Power-Neutral Transient Computing Systems	
SB2-0004	Energy management for solar-powered IoT devices with performance adjustment	
SB2-0005	Dynamic Duty-Cycle Scheduling Schemes for Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks	
SB2-0006	Recent advances in energy management for Green-IoT: An up-to-date and comprehensive survey	
SB2-0007	Reducing the Data Transmission in Sensor Networks through Kruskal-Wallis Model	
SB2-0008	Power and Discrete Rate Adaptation for Energy Harvesting Wireless Nodes	
SB2-0009	Adaptive Energy Management by Reinforcement Learning in Cluster-based Solarpowered WSNs	
SB2-0010	Energy-efficient Activation/Inactivation Strategy for Long-term IoT Network Operation	
SB2-0011	Towards a Perpetual IoT System: Wireless Power Management Policy with Threshold Structure	
SB2-0012	Energy Harvesting Wireless Sensor Networks: Delay Analysis Considering Energy Costs of Sensing and Transmission	
SB2-0013	Performance of Wireless-Powered Sensor Transmission Considering Energy Cost of Sensing	
SB3-0001	Powering the Internet of Things	
SB3-0002	Optimal sleep time controller based on traffic prediction and residual energy in duty-cycled wireless sensor networks	
SB3-0003	A survey and taxonomy on energy management schemes in wireless sensor networks	
SB3-0004	Sleep, Sense or Transmit: Energy-Age Tradeoff for Status Update With Two-Threshold Optimal Policy	
SB3-0005	A Game Theory Distributed Approach for Energy Optimization in WSNs	
SB4-0001	Energy and relevance-aware adaptive monitoring method for wireless sensor nodes with hard energy constraint	

Fonte: Elaborado pelo autor.

ligadas a observação da capacidade energética atual para definir um comportamento e os demais trabalhos que apontam técnicas para prever o comportamento energético futuro e assim adequar seu comportamento corrente. A identificação dos trabalhos e seus grupos de atuação pode ser visualizada na Figura 7.

Figura 7 – Melhorar essa figura com a distribuição dos trabalhos



Fonte: elaborado pelo autor.

3.3 Considerações

A revisão realizada constatou a atenção sobr

primordial da adequação de comportamento alguns termos utilizados para expressar a ação de adequação de comportamento dos dispositivos, *Adaptative Duty-Cycle*, adaptive operating, lightweight operation scheduling, traffic patterns, traffic management, smoothing factor e rate-limit, são termos utilizados recorrentemente nos trabalhos para indicar ajuste de comportamento, todavia a área de atuação desses ajustes podem variar conforme contexto. Após Kansal et al. (2007) apresentar sua teoria de coleta energética, o termo *duty-cycle* foi utilizado para representar os eventos que conduzem o dispositivo a gastar seus recursos energéticos.

Assim, os trabalhos encontrados abordam o ajuste de comportamento dos dispositivos com fator para sua

Quais são os efeitos do throttling na vida útil da bateria e na durabilidade dos dispositivos IoT? Como o throttling pode ser integrado com outras estratégias de gerenciamento de energia, como o duty cycling, para otimizar a disponibilidade e a eficiência energética em sistemas IoT? Como o throttling pode ser adaptado e otimizado para diferentes tipos de dispositivos IoT e ambientes de operação? Qual é a eficácia do throttling na melhoria da disponibilidade de sistemas IoT impulsionados por energia?

definem a ação de limitar a operação do dispositivo

4 Taxonomia

Prosseguindo a análise dos trabalhos mencionados no Capítulo 3, verifica-se a necessidade de classificar dos conceitos mais recorrentes atrelados ao uso do padrão *throttling* em especial aos dispositivos em computação dirigida à energia. Além disso, é preciso levar em consideração a orientação do trabalho junto aos critérios de dependabilidade, em especialmente ao concentrar sobre o atributo disponibilidade, elemento participante nos critérios de dependabilidade apresentados na taxonomia proposta por AVIZIENIS et al. (2004). Por definição temos que disponibilidade é um indicador da capacidade de um equipamento, sistema ou serviço estar em um estado que possa desempenhar certa função solicitada quando necessário (International Organization for Standardization, 2015).

4.1 Organização

As classes descritas foram categorizadas para acomodar os elementos envolvidos de acordo com os critérios que representam. À esquerda, apresenta-se as características dos dispositivos *IoT* encontrados em cenários de restrições energéticas. Primeiramente, as classes foram projetadas para organizar os elementos em destaque considerando as especificidades e limitações à operar em ambientes com recursos energéticos limitados. Estes critérios, auxiliam na compreensão mais precisa em relação as categorias e podem ser visualizados na divisão básica dos elementos presentes na taxonomia, Figura 8.

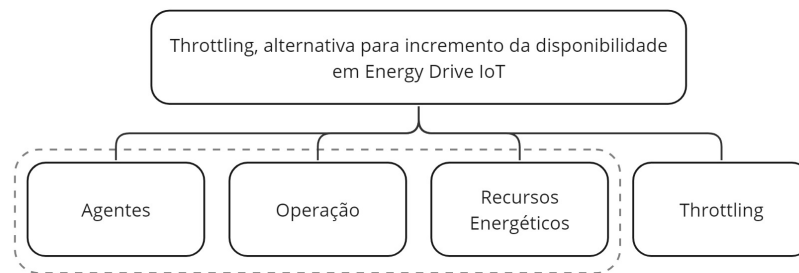
Enquanto ao fator que caracteriza um agente, o destacado trabalho de AVIZIENIS et al. (2004) aplica a dinâmica de definição por papéis, proporciona clara divisão entre agentes em referencia ao que desempenha em relação ao ambiente inserido. Sendo assim, são propostos dois grupos: clientes, que atua ativamente realizando solicitações ou de forma passiva solicitando recursos ou quando notificado; e um segundo grupo, provedores, para estes cabe a responsabilidade de compartilhar seus recursos com outros consumidores através de uma interface conhecida de acordo com o protocolo pré-estabelecido entre as partes.

Toda interação segue um padrão denominado operação, esta é realizada de acordo com o qual se destina, como visto no trabalho de (KHAIRNAR; MEHTA, 2015) operações podem ser medidas pela quantidade de mensagens trocadas entre dispositivos contribuindo para um determinado fim. Sendo assim, os elementos classificadores foram: *Agentes*, *Recursos* e *Operações*.

Percebeu-se a necessidade de classificar as características energéticas dos elementos participantes, ao passo que agentes fazem uso de um fator energético para realizar suas

capacidades, colocando esses recursos energéticos como classe fundamental de análise, impulsionada pelos fatores gerais dos elementos ligados à **IoT**, especialmente aderente aos conceitos de sistemas com capacidade de coleta energética (*Energy Harvesting Systems*) relacionados com computação dirigida à energia.

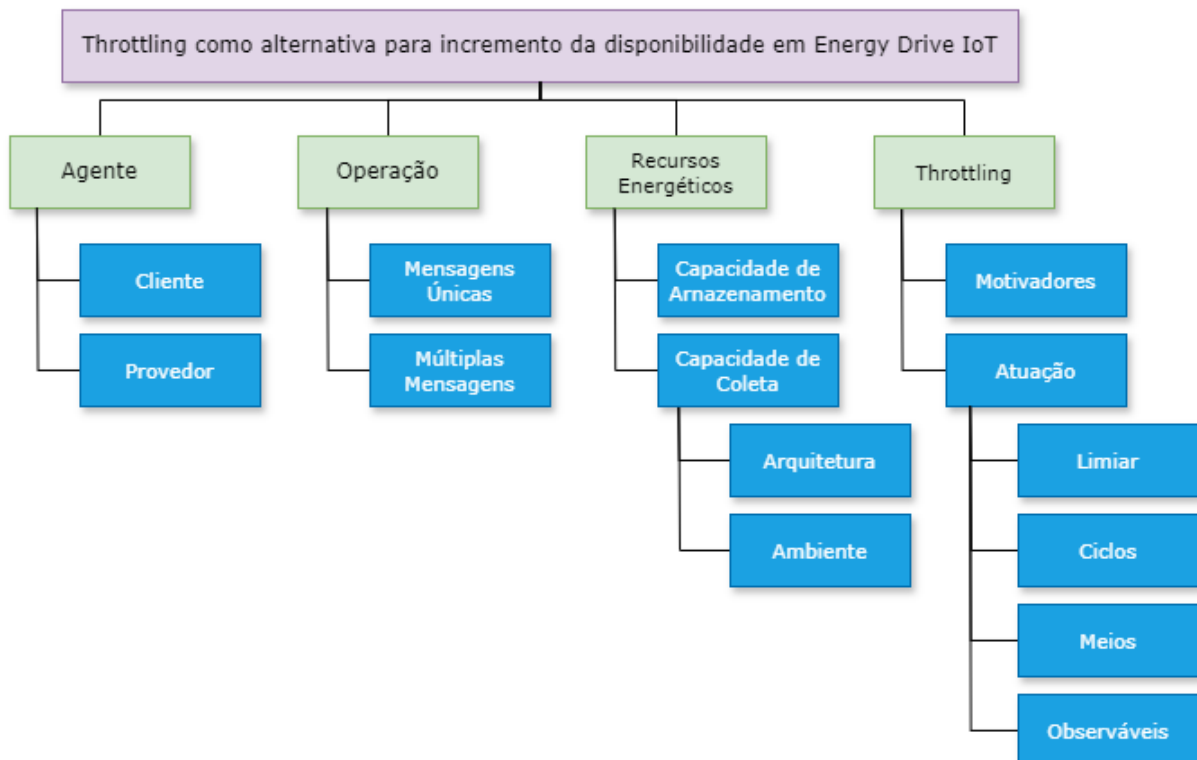
Figura 8 – Divisão Base da Taxonomia



Fonte: elaborado pelo autor.

Ademais, acomoda-se os elementos envolvidos no processo de gestão do comportamento de um dispositivo através do padrão *Throttling*. Nesta classe, dois ramos principais são derivados, Atuação e Motivadores respectivamente. Sobre a classe Atuação, agrupa-se os elementos envolvidos no processo de ajuste de comportamento do: Limiar (*Thresholding*), Ciclos, Meios e Observáveis. Finalmente, a classe Motivação é sugerida de maneira à assegurar as intenções enquanto busca incremento de disponibilidade.

Figura 9 – Visão Geral da Taxonomia.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 Taxonomia Proposta

A Figura 9 ilustra a taxonomia visualmente com os pontos abordados no processo de escolha do padrão *throttling* como alternativa para garantir disponibilidade nos agentes IoT presentes em um ambiente. O objetivo principal é dispor os elementos ligados ao tema de maneira visual e contemplar a organização dos tópicos envolvidos. Com isso, compreende os objetivos almejados ao criar a taxonomia:

1. Auxiliar a compreensão dos conceitos relacionados aos agentes IoT em computação dirigida à energia e os tópicos inerentes à possibilidade de uso do padrão *throttling* como elemento colaborador à disponibilidade desses agentes. Acomodadas em função de cada contexto e necessidade;
2. Oferecer suporte às definições de uso do padrão *Throttling* ligados ao contexto IoT dirigida a energia.
3. Facilitar a descoberta das relações entre os elementos do campo de análise.

4.3 Agentes IoT

Cada agente é essencialmente uma entidade que tem a capacidade intrínseca de interagir com outros agentes sejam digitais ou agentes físicos, chamados dispositivos. Eles possuem propriedades fundamentais, como funcionalidade, desempenho e segurança (AVIZIENIS et al., 2004). No contexto da Internet das Coisas, é crucial considerar a capacidade de se comunicar com outras entidades, atuando em conjunto mediante compartilhamento de recursos, características intrínsecas nos dispositivos IoT (ASGHARI; RAHMANI; JAVADI, 2019).

4.3.1 Dispositivo Provedor

Em qualquer instância onde um dispositivo oferece estados ou atende solicitações de recurso, assume o papel de provedor. Para isso, o dispositivo oferece uma ou mais funcionalidades denominadas operações, sendo cada uma, realizada através do uso de seus recursos a medida que avança em seus estados internos buscando fornecer resposta as solicitações. O resultado disto será percebido como estado externo, acessível por meio de sua interface em resposta às solicitações ou provida na forma de eventos acessíveis aos clientes.

A medida que solicitações se apresentam ao dispositivo provedor, tais eventos interagem na forma como este lida com seus recursos. Através disso, motivam a dinâmica de mudanças de estado internos e por sua vez impactam diretamente na dinâmica dos custos operacionais do dispositivo. Por exemplo, tomemos um sistema de iluminação

urbana que pode, por meio de solicitações, interagir com dispositivos encontrados em um ambiente. Assim, este sistema atua solicitando aos dispositivos a mudança de estado para que acione um recurso em razão de um evento qualquer. Tal ação impactará no uso dos componentes necessários em decorrência do atendimento das solicitações e assim, impactando na forma como o provedor utiliza seus recursos.

4.3.2 Dispositivo Cliente

Um dispositivo cliente é um agente físico que realiza o papel responsável por receber o estado externo de dispositivos provedores por meio de uma interface de interação disponibilizada. Ele pode consumir recursos provenientes de um ou mais provedores, dependendo da operação que precisa realizar. De forma ativa, cabe ao cliente, através de solicitações, comunicar-se com os provedores necessários para atender suas operações. Todavia, caso reativo, um cliente pode permanecer inativo enquanto aguarda evento necessário para, mediante estímulo, ativar-se motivado a realizar alguma operação.

4.4 Operações

Operações consiste no fluxo de mensagens comunicáveis trocadas entre dispositivos clientes e provedores. Igualmente à dinâmica encontrada em dispositivos clientes, uma operação poderá ser realizada enquanto: um cliente através de mensagens solicita estado de um provedor; ou quando um provedor ativamente disponibiliza um estado.

Mensagem é uma unidade atômica de informação utilizada para as mais diversas ações de acordo com o objetivo da colaboração entre dispositivos, uma mensagem pode carregar ações como inicialização, controle, monitoramento, coleta, processamento ou armazenamento de dados. Os dispositivos envolvidos devem ser capazes de interpreta-las mutualmente.

Para uma operação, múltiplas mensagens também podem ser solicitadas, na forma de composição de serviço AOUDIA et al.(2019), nesse cenário um dispositivo cliente executa solicitações distintas à um ou vários dispositivos provedores para compor sua operação.

4.5 Recursos Energéticos

Um recurso descreve um componente ou capacidade utilizada de tal forma que possibilita dispositivos à realizar suas operações. Isto inclui seus componentes físicos ou virtuais que uma vez embarcados ao dispositivo contribuem cooperando para os mais diversos fins, coleta, monitoramento, automação industrial, assistência a medicina entre

outros. Recursos sinalizam as capacidades dos dispositivos IoT, assim configuração dos recursos embarcados dispositivo esta fortemente ligado à atividade que se destina.

Para a taxonomia, características como capacidade de processamento, armazenamento de dados ou suas particularidades quanto sensores e componentes embarcados são omitidos pois expressam diretamente a diversidade de possibilidades ligadas o universo de atuação do dispositivo. Entretanto, os aspectos energéticos estão recorrentemente presentes a medida que se reduz o universo de análise para a computação dirigida à energia e portanto justificam seu detalhamento. Logo, recursos energéticos, por sua vez refere-se aos grupos: da capacidade de coleta do dispositivo; da capacidade de armazenamento dessa energia previamente coletada.

A arquitetura dos dispositivos dirigidos a energia com capacidade de coleta são projetados para usar seus recursos energéticos de maneira eficiente (PRAUZEK et al., 2018), sua aplicação é especialmente útil em cenários onde a energia para alimentar os dispositivos é escassa ou o fornecimento energético é inviável. Um recurso energético propriamente é uma fonte natural ou artificial de energia que pode ser convertida em forma utilizável destinada à cobrir as demandas energéticas para que o dispositivo permaneça operacional.

No cenário proposto, observar as classes recursos energéticos assume um papel importante pois é essencial para garantir o funcionamento contínuo e autônomo dos dispositivos envolvidos, cabendo ao agente as ações de coleta, e armazenamento para posterior utilização do recurso energético, projetando de maneira a capacitar o dispositivo a operar enquanto busca um cenário minimamente sustentável e caso impossibilitado, conseguir arquivar seus estados de maneira a recupera-se em momento oportuno, restabelecidas as restrições impostas.

4.5.1 Capacidade de Coleta

De acordo com o trabalho de SUDEVALAYAM; KULKARNI(2011), a capacidade de coleta refere-se à habilidade do elemento em extrair e transformar um recurso energético disponível no ambiente. Seu objetivo é manter ou estender o tempo de funcionamento do dispositivo, atendendo integralmente ou parcialmente às suas necessidades energéticas.

Sistemas de coleta energética possuem três conceitos fundamentais: Carga, a Arquitetura de Coleta e entrada energética. A Carga é destinada a atividade que esta consumindo energia, este é oriundo de um componente demandante de energia no dispositivo necessário para realizar uma operação, sejam sensores, transmissores ou atuadores. A Arquitetura de Coleta descreve quais mecanismos envolvidos, seus componentes, meios para conversão e unidades para armazenamento. Os modelos arquiteturais são fundamentados em três propostas principais:

- Coleta e Usa (*Harvest-Use*): Neste modelo, toda energia coletada é oferecida diretamente ao dispositivo. Conforme MERRETT; AL-HASHIMI(2017), um dispositivo com capacidade de coleta energética pode ser concebido de tal forma que não necessite de um *buffer* energético para suplementar operações, desde que seu funcionamento fosse orientado conforme operação neutra-potencia (*Power-Neutral Operation*). Assim, a energia coletada deve satisfazer os valores de operação plena ou pelo menos o mínimo necessário para funcionamento depreciado.

Outra possibilidade é concebida em modo de operação intermitente (*Intermittent Computing Systems*), onde o dispositivo deve armazenar incrementalmente seu ultimo estado (*checkpoint*) para que dada paralisação no fornecimento energético e posterior restabelecimento, o mesmo consiga retornar ao estado prévio antes da iminente interrupção.

- Coleta, Armazena e Usa (*Harvest-Store Use*): Dispositivos inseridos em um dado ambiente coletam energia do meio para seu uso e, como resposta ao dinamismo da natureza energética coletada, embarca-se a capacidade de armazenar energia coletada em um *buffer* e assim, disponibilizar esta entrada para uso nos ciclos do dispositivo. Este modelo tem objetivo de reduzir problemas derivados da variação do montante energético ofertado pelo sistema de coleta, seja pela momentaneamente pela escassez de energia disponível ou depreciação na performance do modelo de coleta.

A adequação da estratégia de coleta e seus detalhes devem ser projetados de acordo com o ambiente e a natureza da fonte energética que objetiva-se coletar. Em geral, a divisão das características dos ambientes descritos em (SHAIKH; ZEADALLY, 2016) é referencia utilizada para categoriza-las de acordo com os ambientes, assim a analisar as características dos tipos de fontes energéticas. Para isso, temos:

- Não controladas mas previsíveis: A produção energética não pode ser controlada, mas seu comportamento pode ser modelado com o objetivo de prever sua disponibilidade em dado momento com alguma margem de acerto. Por exemplo, o trabalho (LEE; PARK, 2018) aborda a gestão da gestão de recursos energéticos em dispositivos alimentados via energia solar através de análise da previsibilidade de oferta (*energy forecasting*).
- Não controladas e não previsíveis: A fonte energética não pode ser controlada para gerar energia quando desejado e não é fácil alcançar previsibilidade para quando a oferta energética ocorrerá. A extração energética originada pela vibração de ambientes internos é um exemplo das características dessas fontes descrito em (WEI; JING, 2017) uma vez que definir padrões de sazonalidade das vibrações pode tornar o processo de coleta impraticável;

- Completamente controlada: Neste contexto, a energia é gerada apenas quando necessário, como visto em alguns sistemas que extraem energia *piezoelétrico* através da interação humana para suprir necessidade energia quando oportuno.
- Parcialmente controlada: O processo de geração energética é sensível à ação de terceiros porém a quantidade exata de energia gerada não pode ser prevista com exatidão. Fontes baseadas em Radio Frequência converte a transmissão de ondas de radio em energia utilizável, por exemplo, na dinâmica realizada em tags *Radio Frequency IDentification* (RFID) que conseguem ser visualizadas por um leitor mediante a oferta energética provida pela antena e capturada pelo dispositivo. Todavia, a quantidade de energia coletada sofre impactos diretos das características de propagação no meio disposto, barreiras, distancia até a fonte originária, capacidade de transmissão.

4.5.2 Capacidade de Armazenamento

A capacidade de armazenamento trata das propriedades como conversão, taxa de carregamento e descarga além de eventuais perdas em relação a fonte energética com o objetivo de utilizar essa energia em momento apropriado.

É bem conhecido que o fator energético é um desafio para dispositivos com restrições energéticas, pois claramente caso o recurso energético deste seja esgotado o mesmo não será capaz de cumprir seu papel, sob a condição do restabelecimento deste recurso ou algum mecanismo de armazenamento capaz de atender parcial ou totalmente a diferença energética necessária para as operações. Baterias, super capacitores ou modelos híbridos atuam como *buffer* e podem estar presentes no contexto de dispositivos com capacidade de coletar recursos energéticos do ambiente.

Assim a capacidade de atuação do dispositivo buscará primariamente estar de acordo com as condições e necessidade de conservação da energia a medida que faz uso de recursos armazenados em um componente *Storage*. Um acordo de nível de serviço (*Service Level Agreement*) estabelecido é fundamental para decidir e optar sobre a presença e as características desse *Storage*. Portanto, quanto a capacidade de armazenamento energético um dispositivo deve encontrar-se como:

- Dispositivo sem *Storage*: Aqui não existe a necessidade estrita da gestão de recursos elétricos armazenados pois caso não exista energia suficiente o dispositivo poderá adaptar-se continuamente na tentativa de manter sua necessidade energética em acordo ao fornecido no momento, ou encerrar suas operações por interrupção por valor coletado insuficiente. Neste caso é fundamental que o dispositivo esteja ciente das características energéticas do ambiente onde está inserido.

- Dispositivo com *Storage*: Neste caso, um dispositivo carrega em si a capacidade de armazenar energia coletada em um *buffer*. A gestão energética deve ocorrer para que a energia coletada seja previamente armazenada e assim, disponibilizada a medida que os ciclos de funcionamento decorrem. Aqui os dispositivos operam em um regime de Coleta, Armazenamento e Uso e não necessariamente adotam um comportamento em decorrência do comportamento exclusivo dos valores coletados. Ao equipar dispositivos com *Storage* pontos como custo, volume, capacidade desse componente e as questões ambientais em decorrência disso devem ser ponderados conforme mencionado por MERRETT; AL-HASHIMI(2017).

4.6 *Throttling*

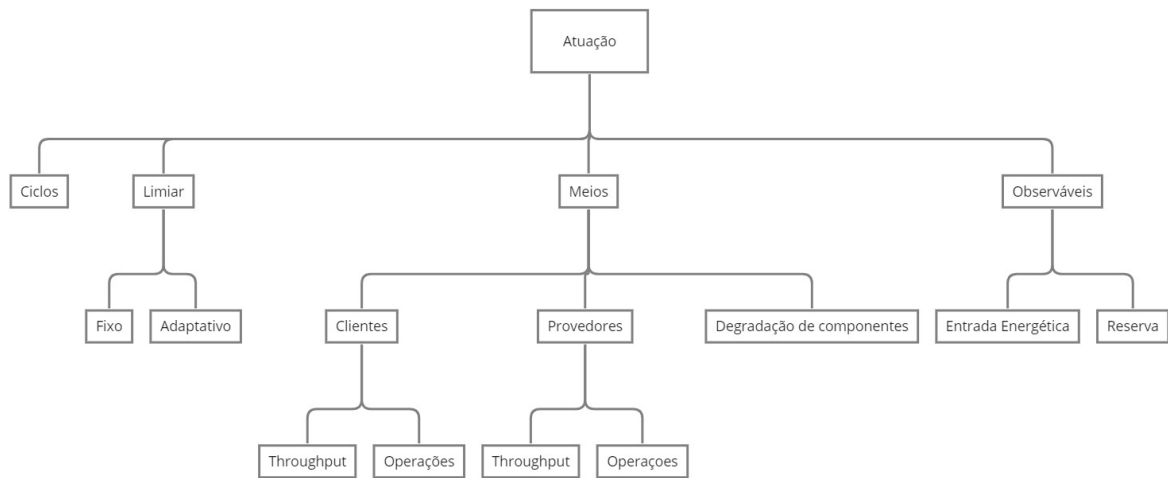
Aplicar o padrão *Throttling* consiste basicamente em restringir o uso de recursos em acordo com limites de utilização estabelecidos. Seu objetivo é proteger um dispositivo contra um estado de sobrecarga, evitando que consumidores excessivamente solicitantes coloquem um dispositivo provedor em um estado de crítico, evitando possíveis falhas e a exaustão prematura de recursos (MARTINEKUAN, 2019). Com isso, a solução concentra-se em permitir que provedores consigam operar dentro de termos definidos por um acordo de funcionamento conhecido e detalhado em [SLA](#), protegendo este dispositivo descontroladamente encontrar-se em situação onde precise atender mais solicitações do que o adequado para sua capacidade.

Na taxonomia, o *Throttling* é candidato à colaborar nas atividades que buscam aumentar disponibilidade dos dispositivos, conservando recursos energéticos em observações das características ou limitações do próprio dispositivo. Para tal, é preciso que limites sejam estritamente adequados ao que se aplica, sua capacidade de transmissão, recursos disponíveis e esperados pelo dispositivo. Definir limites de operação realísticos que atendam as necessidades de um dispositivo provedor é um desafio para sistemas com estratégia de coleta de energia (KHAIRNAR; MEHTA, 2015), (LIU et al., 2016) e (ZHANG et al., 2018), entregando a capacidade de decisão sobre as atividades realizadas nos ciclos enquanto objetiva sua conservação.

4.6.1 Atuação

Em dispositivos [IoT](#) orientados aos fatores energéticos, a atuação do padrão é dada ao monitorar a taxa de solicitações durante um espaço de tempo, esta janela temporal denomina-se Ciclo e esta dispositivo com categoria mais à esquerda no recorte disponível na Figura 10. Durante um ciclo, clientes e provedores atuam realizando solicitações ou disponibilizando seus estados. Do ponto de vista da disponibilização dos recursos, durante um ciclo de carga, um dispositivo provedor configurado para tal, pode assumir abordagem

Figura 10 – Throttling:Atuação.



Fonte: elaborado pelo autor.

de equidade entre os solicitantes ou algum critério de prioridade e privilégio. Em virtude disso, caso necessário um solicitante qualquer teria suas requisições atendidas enquanto acontece a negação do serviço para outro cliente com menor prioridade.

Throttling utiliza mecanismos limitadores baseado em limiares, através da restrição no atendimento de solicitações. Uma vez definido limiar de atuação, a ação do limitador pode ser constante durante todo funcionamento do dispositivo, assim o mesmo valor limiar é aplicado independente de outros fatores durante todo o tempo, outra possibilidade é definir vários limiares que agem de maneira adaptativa de acordo com os modos de operação mapeados, tão logo determinado cenário seja alcançado, o dispositivo pode ajustar seu limiar de atuação para conservar seus recursos visando manter-se funcional. O comportamento do limiar de atuação passa pela análise cuidadosa da natureza das operações esperadas para o dispositivo e possui influencia sobre como o dispositivo irá se comportar. Quanto aos limiares, são classificados como:

- Limiar constante: Seu valor é fixado e estabelecido enquanto o dispositivo é projetado. Este limiar pode ser determinado considerando fatores como testes de desempenho, características do ambiente onde será inserido e requisitos operacionais. Todavia, uma vez definido, o limiar permanecerá constante ao longo de todo o momento em que atividades são realizadas.

Por exemplo, considere um dispositivo com uma dada capacidade de processar mensagens, este pode estabelecer um limiar constante para o máximo de requisições processáveis simultaneamente. Sendo assim, em toda operação, caso esse limiar de requisições seja atingido, irá ativamente rejeitar ou atrasar o atendimento das solicitações de serviço até que o valor de requisições retorne ao nível aceitado.

Esta abordagem, é bastante útil caso se conheça bem as capacidades do dispositivo e não se espera uma grande variação nas condições de operação ao longo do tempo. Embora oferte equidade do ponto de vista dos solicitantes, que tem suas requisições atendidas segundo os mesmos critérios independente do estado do dispositivo provedor, não é garantido que uso dos recursos será adequado caso ocorra mudanças repentinas ou flutuações significativas nos termos de funcionamento deste provedor.

- Limiar adaptável: Nesta abordagem, o comportamento do dispositivo é ajustado dinamicamente, por isso pode assumir um comportamento mais adequado ao observar suas condições de funcionamento através do monitoramento ou análise dos seus recursos. Permitindo atender as solicitações dos clientes, com performance adequada aos termos de operação que se encontre. Por exemplo, dado um sistema de segurança que geralmente possui dispositivos equipados com câmeras. Este provedor, deve enviar imagens capturadas por seus sensores para algum solicitante, seja uma central que passivamente recebe as gravações ou outra forma de demandante devidamente conhecido. Seja uma mudança observada em seus termos de funcionamento, o dispositivo poderá ter faixas de limiares distintas adequando-se ao estado encontrado, por exemplo, operações diurnas ou noturnas, conservando-se e garantido seu funcionamento dentro do acordo de serviço estabelecido.

O dispositivo com limiar(es) de atuação, indica para o mecanismo *throttling* em qual momento irá ser acionado, sendo capaz de adequar o modo de operação do dispositivo, depreciando seus serviços como mudança de comportamento, seja para interromper operações conforme Figura 3 ou reduzir sua taxa da transmissão. Com isso, aumentando seu tempo de inatividade e assim mitigando riscos enquanto se encontra em um modo restrito.

Uma vez que os recursos energéticos observáveis se restabeleçam, pode-se assumir um comportamento de uso acentuado mediante solicitações e a capacidade do dispositivo utilizar mais recursos disponíveis, incentivado pelo novo valor estipulado para o limiar de consumo. Esta capacidade de adaptação, permite que dispositivos mantenham algum equilíbrio enquanto conservam recursos e buscam performance, sustentado pela adaptação promovida pelos modos de operação definidos, garantindo assim suas disponibilidade nos termos das condições operacionais.

Qualquer aspecto que impacte ou influencie na capacidade do dispositivo em manter-se disponível deve ser considerado em sua atuação. Estes, ditos elementos observáveis, compreendem os componentes aos quais cabem a análise de estado, pois justificam a ação do mecanismo *throttling*, que deverá indicar o comportamento do dispositivo para mantê-lo adequado buscando evitar seu esgotamento energético. Para tal, se apresentam como os garantidores das condições energéticas do dispositivo: sua condição de entrada através da

coleta de fonte energética e a capacidade de armazenamento dessa energia coletada em eventual *buffer*.

O comportamento de um dispositivo pode ser ajustado de acordo com suas circunstâncias. Diferentes meios são usados no processo de construção do mecanismo *throttling* participante na adequação do comportamento à depender das características de atuação e a intenção ao limitar operações. Em detrimento disso, cabe observar papel à desempenhar pelo dispositivo pois, cada um deles apresentam em suas particularidades indicações sobre como agente limitador deverá atuar. Sendo assim, compõe os meios utilizados pelo agente limitador:

- Meio 1: Da limitação sobre dispositivos clientes;
- Meio 2: Da limitação sobre atividades do dispositivos provedor;
- Meio 3: Aspectos da degradação intencional de componentes demandantes.

Configura-se o Meio 1 a utilização dos mecanismos de *throttling* operam em referencia da capacidade dos clientes em relação de sua taxa de vazão (*throughput*) ou sobre a criticidade de suas operações. Sobre a taxa de vazão, é esperado que o limitador aplicado atue sobre a taxa de recebimento das mensagens em acordo com a capacidade do cliente para lidar com tais eventos. Sendo assim, o dispositivo cliente poderá limitar o envio de novas solicitações ou a sua disponibilidade para recebimento de novas informações de acordo com o modo de operação encontrado em decorrência das capacidades observadas que o colocam em tal modo.

Entende-se por criticidade para um cliente, o atributo que indica a importância das operações realizadas por este dispositivo em detrimento das consequências obtidas pela não realização de uma operação dita crítica no cenário de atuação do dispositivo. Assim, é previsto dois cenários: um primeiro onde todas as operações tem igual importância, e um segundo, onde existam operações classificadas como críticas. Assim, de acordo com o segundo cenário, justifica-se que tais operações possam encontrar um modo com limiar de *throttling* aliviado e por isso, cabe observar e definir tais valores para que caso ocorram operações privilegiadas, exista também a justificativa de maior tolerância quanto ao uso de recursos para o cumprimento destas.

Certamente, para que seja possível um maior gasto de recursos pelas operações críticas, cabe também à fase concepção do dispositivo definir suas regras de compensação onde caso necessário, o dispositivo pode limitar outras operações, motivados a preservar parte do seus recursos que em outro momento seria utilizado por estas demandas menos privilegiadas.

Meio 2 compreende o controle de atuação no dispositivo provedor. De acordo com o seu estado durante um ciclo os mecanismos de *throttling* poderão atuar em conformidade

aos recursos encontrados. Para tal, as estratégias de aplicação e definição de limiares passam pela observação da capacidade de vazão das múltiplas solicitações dos clientes, bem como da criticidade das operações realizadas.

A taxa de vazão do um dispositivo provedor, é definida pela sua capacidade em atender demandas dos diversos solicitantes durante um ciclo, seja por limitação de transmissão (*throughput*), por sua capacidade computacional em realizar tais operações ou mesmo seu modo de operação definidos em relação aos observáveis. Sendo assim, o mecanismo de throttling presente no provedor poderá se valer dos limiares estipulados através da análise dos recursos para operação e, em similaridade aos dispositivos clientes. A partir daí, caso o cenário encontrado seja apropriado, limitar o atendimento as solicitações de solicitantes considerados excessivamente demandantes ou não privilegiados.

O limiar de atendimento de operações poderá suportar um sistema hierárquico, similar ao já definido sobre a criticidade das operações dos dispositivos clientes. Neste caso, é de conhecimento do dispositivo provedor quais solicitações são privilegiadas pois suas operações devem ser realizadas mesmo em um cenário mais restrito.

Quanto a observação das operações realizadas pelo dispositivo provedor, estas tem seu grau de criticidade atrelada a importância de tal operação na conjuntura ao que se destina o dispositivo. É importante destacar que a definição de limiares sempre busca garantir que o dispositivo não consuma seus recursos desnecessariamente, considerado um gasto excessivo. O Limiar de atuação deve ser revisto idealmente para atuar a todo momento que o panorama encontrado pelo dispositivo mude, seja pelo fim de um ciclo de atividades ou a medida que solicitantes sejam atendidos. Com isso, dado limiar deverá atuar protegendo o dispositivo provedor no decorrer de sua mudança de estado ao passo que realiza as operações.

Pode-se ainda, anexar ao conjunto relacionado aos fatores utilizados para definição do limiar das operações, os aspectos ligados a degradação ativa nos componentes envolvidos nas operações ou apenas de uso interno do dispositivo. Ao limitar alguma operação, apresenta-se a oportunidade para que o *throttling* no dispositivo também possa restringir o uso de recurso energético de algum componente inativo, neste caso, encerra-se parcial ou totalmente a utilização energética dos componentes envolvidos com tais operações limitadas.

Compreendendo os mecanismos dispostos no Meio 3, encontra-se a capacidade do nó em reduzir o consumo energético de algum componente embarcado mediante o cenário de escassez energética. Esta é uma manobra conhecida, diversos dispositivos submetem-se a esta manobra objetivando a conservação de seus recursos energéticos durante ciclos, especialmente quando não existe uma previsibilidade de uma nova oferta energética. Por exemplo, os aparelhos móveis adotam tal comportamento para que, quando um determinado valor energético em *Storage* seja atingido, limitar ativamente os componentes

menos críticos, por exemplo câmeras de alta definição ou alto-falantes, assim, o recurso energético usado por tais componentes podem ser conservados e disponibilizados para manter outros componentes dito essenciais até que o cenário de escassez se resolva.

A entrada energética descrita na Subseção 4.5.1, indica a capacidade do dispositivo em captar recursos energéticos através de mecanismo de coleta, uma vez que um dispositivo receba esta entrada, dará início um ciclo que por sua vez durará até a próxima oferta energética. Sobre a capacidade de armazenar energia, como decorrido na Subseção 4.5.2 é o indicativo do potencial que sua sua reserva energética (*Storage*) pode chegar, para que em momento adequado, os valores armazenados sejam disponibilizados para suprir a demanda energética operacional.

A capacidade do dispositivo em entender a dinâmica dos fatores que interagem com os valores coletados na forma de entrada energética através do seu *Power Supply* e reserva (*Storage*) são fundamentais para garantir maior disponibilidade. Estes fatores compreende os observáveis, grupo motivador do ajuste de comportamento dos mecanismos providos pela atuação do *throttling*.

4.6.2 Motivadores

Além das operações realizadas, a implementação do padrão *throttling* passa por avaliar os agentes que impactam diretamente o comportamento do dispositivo. Este, também deve considerar a atuação do mesmo enquanto dispositivo IoT.

Desta forma, a mudança de comportamento do dispositivo motiva-se em: tão logo os fatores de tomada de decisão forem alcançados, adequar-se para que estes fatores agora considerados divergentes, sejam superados motivados pela mudança de modo de operação buscando retornar ao cenário que representa as capacidades de atendimento do dispositivo. Por isso, o agente limitador deve agir de maneira suficientemente rápida para que a mudança de estados seja alcançada o mais brevemente possível, referente à capacidade do dispositivo em dispender recursos para realizar operações.

No trabalho (ZHANG et al., 2018), equipamentos capazes de observar seus recursos energéticos, atuam modificando seu comportamento para preservar energia enquanto permanecem na expectativa de uma entrada energética prevista. Sendo assim, a motivação de aplicação do agente limitante é preservar alguma condição energética, prolongando a disponibilidade dos componentes ditos críticos. Portanto, a motivação dos dispositivos em limitar seu comportamento passa pela análise do estado dos recursos observáveis e a intenção que se deseja alcançar em acordo com agente limitante. Por sua vez em, (GONG et al., 2022) aborda a capacidade de decidir se os dispositivos devem hibernar, realizar operações ou transmitir seus resultados. Estas operações são realizadas motivadas pela análise dos recursos energéticos de maneira que dado um cenário o dispositivo permaneça

inativo por mais tempo, ou realize mais medições.

No contexto de computação dirigida à energia, em quaisquer cenário que o dispositivo se encontrar, caso um limiar de atuação seja atingido a alteração de comportamento precisa ocorrer de modo adequado, mitigando, com isso, perdas desnecessárias ou não previstas, causadas por ajuste inapropriados de comportamento. Considerando que o ajuste demorado potencialmente coloca o dispositivo em não ter um modo de operação adequando às suas condições reais.

Para justificar a atuação dos mecanismos de limitação, é preciso definir quais são seus motivadores, estes carregam o propósito declarado para restringir operações em concordância com a causa motivadora. Assim, é de interesse da observação das capacidades energéticas, ajustar o comportamento do dispositivo motivado do que pretende-se obter através disso, os motivadores para uso de *throttling* sob essas circunstancias são:

1. Preservar recursos energéticos. Evitar gasto excessivo ou inadequado é primeiro motivador de um agente limitante embarcado em dispositivos com restrições energéticas, pretende-se com isso manter o dispositivo operando adequadamente em relação das capacidades energéticas e com isso dispendendo recursos de maneira sustentada ao passo que a energia coletada durante os ciclos anteriores seja suficiente para todas operações realizadas, enquanto preserva seus recursos presentes.
2. Restabelecimento da condição energética. Quanto a recuperar seus recursos energéticos, entende-se que o dispositivo poderá através da análise de seus observáveis, adotar comportamento limitado motivado pela expectativa de restabelecer seus recursos energéticos a patamar acima do encontrado em *storage*. Neste caso, pretende-se manter-se em modo de operação que favoreça dispende menos recurso possível durante os próximos ciclos até que seus recursos observáveis retornem aos valores desejados. Uma vez alcançado um estado desejado, o dispositivo poderá reavaliar seu comportamento e ajustar-se para o modo de operação considerado adequado.

5 Guidelines

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

6 Estudo Experimental

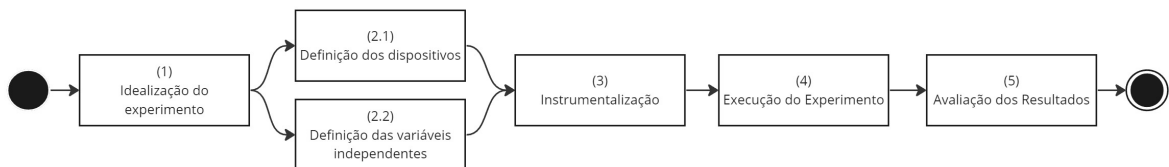
Este capítulo consiste em apresentar o estudo experimental realizado, envolve a concepção do contexto de experimentação, das configurações e características dos elementos envolvidos, a seleção das variáveis influenciadoras, o controle e instrumentalização do experimento, sua execução e captura de dados durante experimentação, e por fim, a análise e conclusões obtidas a partir desses resultados.

O objetivo do experimento é analisar por meio de demonstração da taxonomia proposta, a viabilidade do uso de mecanismos de *throttling* como candidato para aumentar a disponibilidade dos elementos presentes em *IoT* através do ajuste de comportamento por ação de limiares de atuação que consideram seus aspectos energéticos para assim, prolongar a autonomia energética dos dispositivos. A abordagem é aderente e cobre os elementos presentes na taxonomia proposta no Capítulo 4 permitindo comparação e análise entre dispositivos que diferem sobre o fato de terem sua operação ajustada mediante *throttling* ou não.

6.1 Metodologia

O experimento compara os efeitos do mecanismo de *throttling* em dispositivos com capacidade de coleta de energia, com foco em examinar a disponibilidade de cada um voltado aos aspectos energéticos em condições de atuação semelhante.

Figura 11 – Processo de Estudo Experimental.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para tal, buscou-se observar a influência do fator limitante na alteração de comportamento dos participantes em resposta aos valores obtidos como energia coletada e por sua vez, reserva energética. Além disso, almeja-se compreender sua eficiência na tomada de decisão em atender ou não às solicitações, em virtude da autoanálise de suas capacidades à medida que há variação de oferta energética disponível. Este estudo visa analisar o uso de *throttling* como solução para estender a disponibilidade em relação aos fatores energéticos dos dispositivos com capacidade de coleta energética.

A Figura 11 apresenta os processos executados e sua ordem exprime a precedência para realização das etapas adjacentes. Na Seção 6.2, foi concebido a idealização do experimento (Etapa 1), quais os requisitos do projeto para viabilizar a análise e comparação de dispositivos com padrão *throttling*. Partindo daí, foi projetado um ambiente para abstrair os elementos envolvidos, buscando garantir o controle na equidade de condições para os dispositivos observados. Todo o processo foi viabilizado pelo uso da plataforma Docker¹, uma plataforma de virtualização que atua sobre o desenvolvimento, envio e execução de aplicativos organizados na forma de contêineres e por esses fatores, atende às restrições necessárias de encapsulamento para cada aplicação e suas dependências auto contidas.

A abordagem utilizando *containers* permitiu que os dispositivos fossem estimulados simultaneamente, mantendo controle sobre seus recursos garantindo os termos da operação. Sendo assim, a definição dos dispositivos e variáveis (Etapa 2) do experimento considera: I - Dispositivos simulados com capacidade de coleta e armazenamento de energia estão inseridos em um dado ambiente similar ao uso real; II - Os dispositivos recebem, ao mesmo tempo, um valor como coleta de energia; III - Os dispositivos participantes possuem a mesma capacidade para armazenar energia coletada em *storage*; IV - Os dispositivos são submetidos ao mesmo tipo de solicitações simultaneamente.

Na Instrumentalização (Etapa 3), capacita o experimento para coletar, apresentar e preservar os resultados aferidos de uma execução e posterior visualização dos dados obtidos, os detalhes estão descritos na Seção 6.5. A Seção 6.6 descreve apropriadamente os detalhes de execução (Etapa 4). Neste ponto, todas as etapas planejadas anteriormente no andamento do processo já foram abordados. Em decorrência disso, habilita-se o experimento para realizar múltiplas execuções conforme protocolo estabelecido, aplicando os estímulos já definidos (carga de solicitações e disponibilização de recursos energéticos), coletando os resultados obtidos.

Em seguida, a Seção 6.7, apresenta a avaliação dos resultados (Etapa 5), que consiste na descrição e análise dos dados obtidos durante a execução. Os dados analisados são compostos pelos valores inferidos ao grupo de variáveis independentes e os resultados obtidos no grupo de variáveis dependentes. Constituem as variáveis independentes: os valores energéticos disponibilizados; e da quantidade de solicitações realizadas. A análise se fundamenta em observar como o mecanismo *throttling* implementado no dispositivo se colocará como agente atenuante do gasto energético utilizado a medida seus limiares de atuação são atingidos de acordo com o modo de operação previsto para determinados fatores observáveis presentes.

Finalmente, encerrando a execução do experimento, as variáveis dependentes resultantes são coletadas para avaliação e evidenciam: a performance em relação a quantidade total de solicitações atendidas ao fim da execução do experimento e a quantidade de

¹ Disponível em <<https://www.docker.com/>>.

solicitações impedidas mediante indisponibilidade de recursos em *storage*. Ao aprofundar a análise, é preciso ainda, contrapor os dados temporais de oferta energética em relação a quantidade presente no dispositivo, o que justificará a atuação de limitadores e sua capacidade em manter um dispositivo operacional do ponto de vista energético.

6.2 Idealização

Uma vez definido os objetivos do experimento, a idealização é o ponto onde foi construído as bases de execução do estudo. Assim, foram concebidas a estruturação geral dos parâmetros, a definição do cenário para realizar os testes, além da capacidade de coleta dos resultados e avaliação de conformidade com os termos presentes na taxonomia proposta.

O cenário foi idealizado para simular a atuação de dispositivos em dado ambiente. Aqui, fundamentalmente, dispositivos provedores devem atender as solicitações de operações à medida que são providos energeticamente por seu sistema de coleta (*power supply*). Decorrente disso, cabe ao dispositivo, com base nas condições energéticas presentes em seu armazenamento (*storage*), decidir se é capaz ou não de realizar a operação solicitada. Para atingir seu objetivo, o mecanismo de *throttling* deverá atuar conforme instancia de observação referente às classes taxonômicas já vistas na Figura 8.

Para sua concepção é preciso definir alguns pontos primários esperados. Assim descreve-se C_a como o valor consumido pelo dispositivo quando estado ativo, C_i , o consumo enquanto estado inativo e C_h representa dispositivos sem capacidade energética, com seu valor é zero e configura um equipamento em estado hibernativo.

Seja o tempo a duração de um ciclo $T(c)$, obtido pela soma da duração do tempo onde o dispositivo esta ativo t_a , permanece inativo t_i além do tempo que hiberna t_h , é seguro expressar o tempo total do ciclo em razão dos constituintes na expressão $T(c_n) = t_a + t_i + t_h$. O consumo total C_{total} , durante um ciclo é obtido de maneira que:

$$C_{total} = C_a \cdot t_a + C_i \cdot t_i + C_h \cdot t_h \quad (\text{Sendo } C_h = 0)$$

$$C_{total} = C_a \cdot t_a + C_i \cdot t_i$$

Assim, considerando um dispositivo que permaneça ativo durante todo o ciclo $t_a = T$, $t_i = 0$, $t_h = 0$:

$$C_{total} = C_a \cdot T$$

De outra forma, caso permaneça hibernando durante todo o ciclo $t_h = T$, teremos seu consumo total:

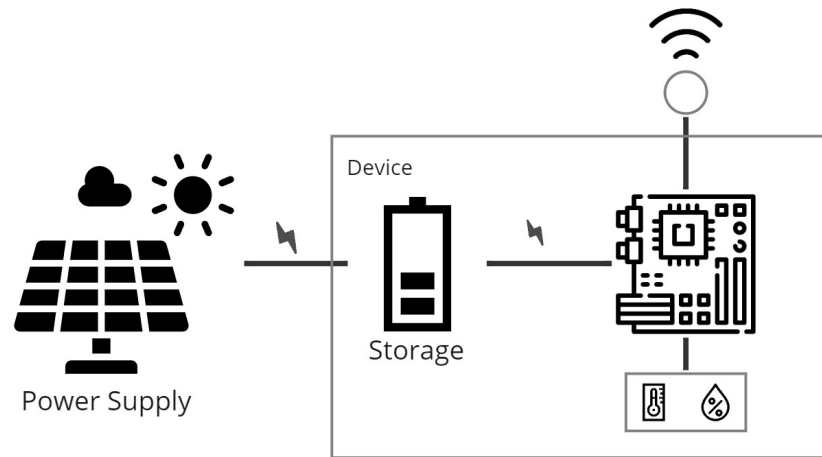
$$C_{total} = C_t \cdot T = 0$$

Portanto, um dispositivo com ação do mecanismo *throttling* deverá ter seu comportamento adequado ao modo de atuação esperado, através da recusa de solicitações em

ciclos proporcionando a variação entre t_a, t_i e t_h cooperando com o motivo de atuação para que reduza seu consumo, assim conduzindo o dispositivo ao cenário onde o tempo de atividade é cada vez menor ao tempo total do ciclo $t_a < T$ e, se necessário, manter $t_h \approx 0$.

Ainda nesta etapa, foi necessário conceber uma configuração de componentes adequadas que pudessem representar um dispositivo com capacidade de coleta energética. Com esse objetivo, reduziu-se o dispositivo aos aspectos de armazenamento (*storage*), sua entrada energética simulando um valor coletado através de um *power supply* e os demais componentes necessários para uma operação. Assim, a dinâmica energética segue-se ao passo que um valor energético é apresentado em ciclos ao *storage*, que armazena e fornece os valores para uso dos demais componentes presentes. A Figura 12 ilustra dinâmica energética de funcionamento do dispositivo.

Figura 12 – Dinâmica do fornecimento energético Dispositivo Provedor.



Fonte: elaborado pelo autor.

Em consequência, acontecendo disponibilidade energética, cabe ao dispositivo armazená-la na medida que os valores vão sendo apresentados, respeitando sua capacidade de armazenamento. Ao passo que paralelamente, os valores energéticos estão disponibilizados na forma de recurso ofertado e utilizado na medida que realiza suas operações.

Finalmente, o dispositivo deverá em todo seu funcionamento atuar dinamicamente em conformidade com os modos de operação projetados que representem os valores de recursos energéticos que possui. No experimento estão cobertos quatro modos de atuação a depender das capacidades energéticas:

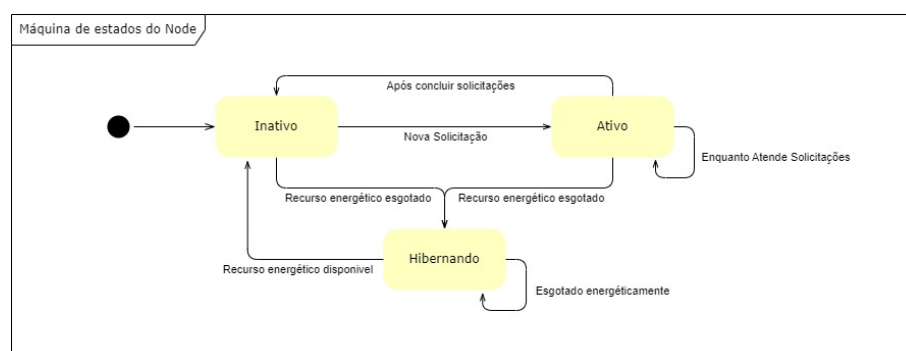
1. Modo Abundante: representa o dispositivo que possui recursos energéticos amplamente disponíveis, permitindo o funcionamento completo e otimizado de todas as suas funcionalidades. Aqui, atenderá quaisquer solicitação enviada, sem atuação do mecanismo limitante, aproveitando ao máximo a disponibilidade de energia;

2. Modo Atenção: Uma vez atingido este patamar, o dispositivo ainda apresenta condição energética razoável, porém moderadamente restringirá algumas operações atendidas com a motivação de preservar parte dos recursos até que um novo cenário energético seja apresentado;
3. Modo Alerta: alcançado quando o dispositivo está operando com recursos energéticos extremamente limitados. Algumas operações ainda podem ser realizadas (conforme privilégios das operações ou solicitantes). Este modo motiva-se na intenção de prolongar a funcionalidade básica do dispositivo a todo custo enquanto tenta evitar a entrada no Modo Hibernação.
4. Modo Hibernação: este modo é ativado quando não possui mais recursos energéticos disponíveis para realizar operações. O dispositivo entrará em um estado de hibernação ou equivalente até que recursos energéticos sejam recuperados. Nenhuma ação de limitação acontecerá durante esse modo, caso hiberne, o dispositivo encontra-se esgotado energeticamente.

Um modo de operação guiará como o mecanismo de *throttling* atua em detrimento do valor disposto em sua reserva energética, assim pode contribuir reduzindo a utilização dos recursos, amortizando ou interrompendo o uso energético nos serviços ofertados no dispositivo a medida que limita à capacidade de atendimento as solicitações.

Naturalmente, os modos de operação podem sofrer variação, cabe a análise das especificidades e natureza que se destina cada implementação, para assim, dado o exame desses fatores, definir apropriadamente quais modos serão necessários para o dispositivo almejado. Estes modos guiam a capacidade de mudança dos estados do dispositivo. Uma vez que, são justificados por tal modo reduzir a quantidade de solicitações atendidas, proporcionando momento em estado de inatividade forçada contribuindo para redução dos recursos utilizados. De maneira geral, a dinâmica dos estados do dispositivo pode ser visualizada na Figura 13.

Figura 13 – Máquina de estados do Dispositivo.



Fonte: elaborado pelo autor.

A relação entre modos de operação e estados deixa implícita presença do mecanismo limitante e atuação implementada em cada modo, contribuindo para que o dispositivo permaneça em um estado de inatividade à depender das condições estabelecidas em que se encontra com a motivação de preservar ou restabelecer sua condição energética. Sendo assim, uma vez em determinado modo, o dispositivo terá uma quantidade potencial para atendimento das operações e estas, colocam o dispositivo em um estado ativo. Caso atinja valor limitador de acordo com o modo, novas operações passam a ser negadas e por sua vez, colocará dispositivo em inatividade, reduzindo assim seu gasto energético.

Para fins de experimentação, os estados possíveis para o dispositivo são descritos como:

- Estado Inativo: Aqui o dispositivo estará consumindo a menor quantidade de recurso energético possível. Enquanto inativo, encontra-se ocioso sem realizar nenhuma tarefa à medida que aguarda novas solicitações ou seja o caso necessário, aguarde nova entrada energética disponível, para atender solicitações anteriormente recusadas.
- Estado Ativo: Um dispositivo é considerado ativo enquanto atende solicitações. Nesse estado o dispositivo utilizará os recursos energéticos necessários para realização das atividades mediante o consumo desses recursos.
- Estado Hibernando: No experimento, o estado hibernando é a indicação que o dispositivo não tem mais capacidade de assumir qualquer outro estado enquanto não receber recursos energéticos, seja por modo contundente de preservação ou em decorrência do esgotamento de suas reservas. Portanto, neste estado, um dispositivo não realizará qualquer atividade.

6.3 Definição das Variáveis Independentes

Dispositivos com a capacidade de coleta de energia (*Energy Harvesting System*) se baseiam na utilização de fontes energéticas disponíveis no ambiente para suprir, parcial ou totalmente, a demanda de um dispositivo. Em todo caso, para o experimento, não há, a princípio, a intenção de analisar as particularidades de alguma fonte energética, sua natureza e características de uso ou eficiência.

Todavia, na execução do experimento é necessário a compreensão sobre a disponibilidade da oferta energética em termos quantitativos de uma fonte qualquer. Para cobrir os critérios levantados na taxonomia como capacidade de coleta, os dados utilizados se assemelham ao comportamento observado por um fonte de energia solar e foram concebidos à partir de adaptação dos dados reais disponibilizados no Atlas Brasileiro de Energia Solar (MARTINS et al., 2017). Em destaque, a definição dos valores foi orientada pela referencia para cidade de Natal/RN como média diária de irradiação solar no decorrer dos meses.

Adaptado ao experimento, cada valor apresentado compreenderá à uma jornada J_i (para $i = 1, 2, \dots, 12$), totalizando 12 jornadas. Para viabilizar o experimento, os valores originários foram tratados como parâmetro de quantidade, desprezando sua grandeza. Assim, Conforme Tabela 3 onde cada valor representa o montante energético disponibilizado em uma respectiva jornada distribuídos em ciclos.

Tabela 3 – Valores ofertados por ciclo

Jornada (J)	Disponibilizado no Ciclo (c)												
	c05	c06	c07	c08	c09	c10	c11	c12	c13	c14	c15	c16	c17
	(0.007)	(0.02)	(0.053)	(0.087)	(0.105)	(0.127)	(0.136)	(0.125)	(0.12)	(0.101)	(0.074)	(0.04)	(0.005)
J01 5674	39.72	113.48	300.72	493.64	595.77	720.6	771.66	709.25	680.88	573.07	419.88	226.96	28.37
J02 6017	42.12	120.34	318.9	523.48	631.78	764.16	818.31	752.12	722.04	607.72	445.26	240.68	30.09
J03 6032	42.22	120.64	319.7	524.78	633.36	766.06	820.35	754.0	723.84	609.23	446.37	241.28	30.16
J04 6082	42.57	121.64	322.35	529.13	638.61	772.41	827.15	760.25	729.84	614.28	450.07	243.28	30.41
J05 5561	38.93	111.22	294.73	483.81	583.9	706.25	756.3	695.12	667.32	561.66	411.51	222.44	27.8
J06 5075	35.52	101.5	268.97	441.52	532.88	644.52	690.2	634.38	609.0	512.58	375.55	203.0	25.38
J07 4658	32.61	93.16	246.87	405.25	489.09	591.57	633.49	582.25	558.96	470.46	344.69	186.32	23.29
J08 4773	33.41	95.46	252.97	415.25	501.16	606.17	649.13	596.62	572.76	482.07	353.2	190.92	23.87
J09 5571	39.0	111.42	295.26	484.68	584.95	707.52	757.66	696.38	668.52	562.67	412.25	222.84	27.86
J10 5971	41.8	119.42	316.46	519.48	626.95	758.32	812.06	746.38	716.52	603.07	441.85	238.84	29.86
J11 6112	42.78	122.24	323.94	531.74	641.76	776.22	831.23	764.0	733.44	617.31	452.29	244.48	30.56
J12 6269	43.88	125.38	332.26	545.4	658.25	796.16	852.58	783.62	752.28	633.17	463.91	250.76	31.35

Fonte: adaptado de MARTINS et al., (2017)

O fator de distribuição atribuído a cada ciclo c_i (para $i = 0, 1, 2, \dots, 23$) representa a medida que a oferta em dado instante i tem em relação ao total esperado na jornada J (na totalidade dos 24 ciclos), na qual pertence o ciclo. Para atribuição dos pesos dispostos, foi utilizado a referencia do material TUTIEMPO (2023) como equivalente de distribuição solar para um dia. Aqui, a limitação de adotar a distribuição solar específica é justificada pela intenção de conceber os valores capazes de cobrir o objetivo do experimento, mesmo que aparentemente acaba por aproximar-se de termos que caracterizam propriamente os aspectos de oferta energética de fonte solar.

Sendo assim, obteve-se a valoração das quantidades ofertadas, em referencia as jornadas e aplicados aos fatores de incidência encontrados para cada ciclo. Finalmente, é importante destacar ainda que os ciclos c_0, c_1, \dots, c_4 e $c_{18}, c_{19}, \dots, c_{23}$ possuem peso atribuído nulo, porque representam ciclos onde não foi possível ofertar energia coletável significante, similar às características diurnas ou noturnas de fonte solar. para visualização Tabela 3, onde os valores desses ciclos em questão foram suprimidos.

O processo realizado para ofertar os valores ao *storage* realiza-se uma vez definido o montante esperado para uma jornada e segue a partir disso, com o inicio do primeiro ciclo c_{00} estendendo-se sequencialmente até fim do ciclo c_{23} , quando finda-se a jornada propriamente dita. Por sua vez, o próximo montante representará o principio do ciclo c_{00}

da jornada seguinte, realizando a mesma dinâmica de passagem de ciclos. Uma execução terminará quando todos os ciclos presentes nas jornadas sejam ofertadas e esta abordagem garante que todos os cenários previstos para o experimento são cobertos em sua execução e possibilita a geração e análise dos resultados obtidos.

Com a definição de comportamento dos ciclos e jornadas, determina-se também os processos realizados que cobrem uma dinâmica de oferta energética. Através disso, é possível abstrair qualquer tipo de fonte originária desde que seja possível estimar e representar seu comportamento ao longo do tempo.

Partindo disso, surge a necessidade de caracterizar o processo de utilização desses recursos já armazenados. Uma segunda variável independente é necessária, o objetivo é realizar solicitações ao dispositivo de modo a estimular demanda para uso dos recursos. Assim, é preciso adotar algumas práticas para garantir que todos os dispositivos, além de receber a oferta energética estipulada como projetado, também sejam capazes de receber a mesma carga de solicitações que geram essas demandas, aproximadamente ao mesmo tempo.

Na ação de atendimento de uma solicitação, o dispositivo é conduzido para iniciar ou permanecer em estado ativo, este estado intensifica a utilização de recursos quando comparado com estado inativo ou enquanto hiberna, já mencionado na Seção 6.2. Para cobrir essa dinâmica, após os dispositivos receberem a primeira oferta energética, no início da execução do experimento, inicia-se simultaneamente o processo contínuo de envio das solicitações para cada dispositivo. Na razão aproximada de 1 solicitação a cada 0.2 segundos. Caso dispositivo não consiga receber uma solicitação, na janela de tempo, será considerado indisponível para aquele estímulo.

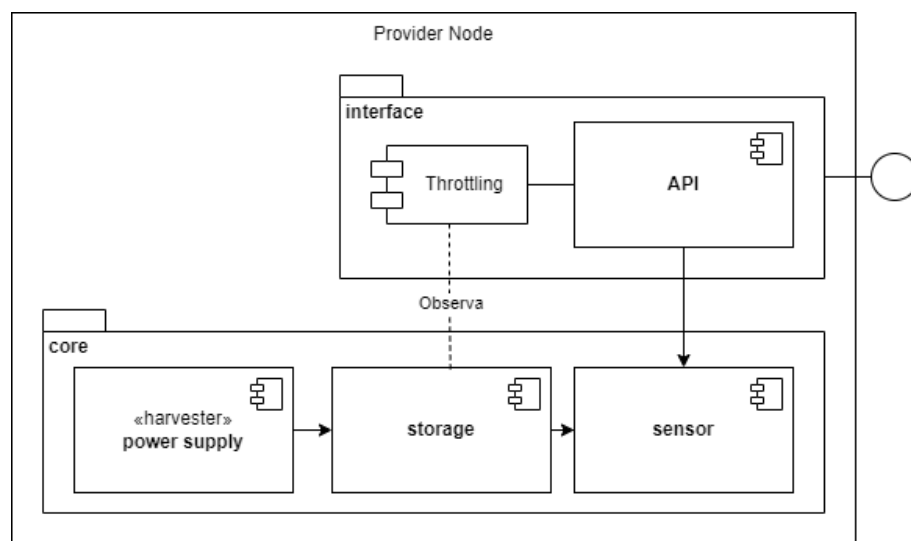
Considera-se ainda que os termos necessários para transmissão ou as características da interface de comunicação podem exercer influência na razão de transmissão das solicitações, por este motivo é previsto que a quantidade total de solicitações realizadas pode sofrer pequena variação em relação ao esperado ao fim de cada execução do experimento. Em todo caso, é garantido em que todos os dispositivos foram estimulados ao mesmo total de solicitações durante a execução.

Finalmente, esta variável independente numérica, as solicitações realizadas, carrega o totais de requisições e em decorrência dela, observa-se os resultados obtidos para quantidade total de solicitações realizadas que foram atendidas ou que encontraram o dispositivo indisponível.

6.4 Definição dos Dispositivos

Foi construído um modelo com a necessidade de representar um dispositivo IoT embarcado com os mecanismos de *throttling* necessários, este será uma implementação que deve receber ofertas energéticas em um cenário simulado, a medida que utiliza esses recursos para atender os estímulos das solicitações contínuas providas em uma interface de acesso. A visão geral do dispositivo provedor e componentes pode ser visto na Figura 14. Além disso, o código fonte gerado para o mesmo está disponível no repositório Git² aberto para análise e colaboração.

Figura 14 – Componentes do dispositivo Provedor.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os elementos idealizados que constituem o dispositivo provedor são referentes aos seguintes componentes:

- *Power Supply* é caracterizado pela ação de fornecer os valores necessários para o funcionamento do dispositivo, simulando a coleta de energia no decorrer dos ciclos como descrito na Tabela 3. O componente atuará em paralelo a outras atividades realizadas pelo dispositivo. Caso o armazenamento do dispositivo esteja completamente cheio, ainda assim os valores de entrada serão entregues, caracterizando perdas. Por sua vez, o esgotamento energético do dispositivo não representa a incapacidade de receber novas entradas ofertadas e com isso, capacitar o dispositivo ao restabelecimento de suas funções.
- *Storage* é responsável por receber os valores oferecidos pelo *power supply* em função de suas características e capacidade de armazenamento, além disso, cabe a este componente oferecer reserva armazenada, com o objetivo de manter a disponibilidade

² Código-Fonte do dispositivo provedor em <https://github.com/eusoupaulolopes/mst_experiments>.

energética do dispositivo sob certas circunstâncias. A capacidade definida para o *storage* do dispositivo deverá ser ajustada e deve representar a aderência da configuração proposta para um *buffer* energético. Em função disso, os modos de operação podem ser estabelecidos pela distribuição proporcional à sua capacidade máxima.

É importante observar que estes modos de operação utilizados no experimento refletem o valor de recurso disponível no *storage* do dispositivo no referido momento e foram calculados pela proporcionalização da capacidade total de armazenamento no *storage* em virtude dos valores dito armazenados. Sendo assim, a Tabela 4 apresenta os modos de operação previstos para os dispositivos em relação a seu armazenamento.

Tabela 4 – Modos de Operação dos Dispositivos.

Modo	Capacidade total do <i>storage</i> (S)
Abundante	$S \geq 70\%$
Atenção	$70\% > S \geq 50\%$
Alerta	$50\% > S \geq 10\%$
Hibernando	$10\% > S \geq 0\%$

Fonte: elaborado pelo autor.

- *Sensor* é a representação das capacidades do dispositivo. Cabe a este componente realizar as atividades solicitadas. Dentre as características presentes nos componentes em sensor esta a justificativa do gasto energético momentâneo mediante o estado que se encontra. Assim, é possível configurar um dispositivo com um ou mais sensores que proporcionem a representação de suas capacidades. Bastando para o experimento, a prévia implementação das especificações de custo operacional em cada estado possível dos sensores anexados. Assim, o dispositivo é capaz de simular a presença de um ou mais componentes. Tendo seu custo operacional em função da forma de uso de tais componentes.
- *Interface* é o ponto de entrada para recebimento das solicitações, componente de interação com o dispositivo. O mecanismo de *throttling* atuará acoplado a interface, controlando a vazão de atendimento a medida que permite ou bloqueia as solicitações recebidas em garantia de manter o modo de operação adequado em sincronismo ao estado das suas capacidades energéticas. Assim, uma vez atingido um limiar observado, instantaneamente o dispositivo poderá negar novas solicitações na interface, impedindo assim a propagação da mensagem que estimularia o seus demais componentes a atender uma demanda solicitada, através disso amortizando o gasto de recursos do dispositivo.

6.5 Instrumentalização

Os processos executados para instrumentação foram fundamentais para garantir a precisão e confiabilidade dos dados gerados durante a execução do experimento. O processo de decisão e escolha entre as ferramentas se deu com base na adequação à necessidade específica do experimento realizado enquanto atende aos aspectos de coleta dos dados de forma objetiva sendo também essencial para as necessidades de visualização e análise dos resultados.

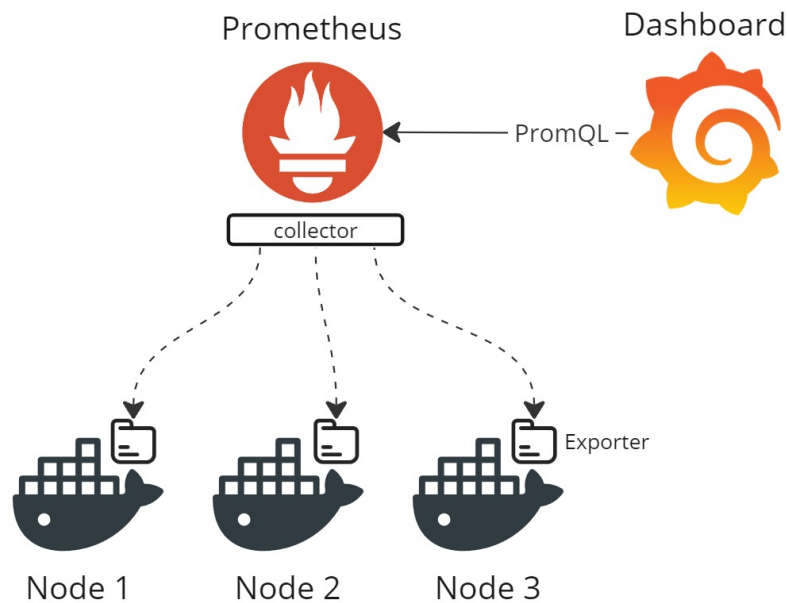
Para isso, o processo de coleta dos dados deve acontecer em intervalos regulares definidos previamente à execução do experimento, assim, todos os dados gerados são coletados simultaneamente em todos dispositivos dentro dos intervalos estipulados. Cabe também a necessidade de armazenamento desses dados capturados para análise posterior. Com essa demanda, justifica-se a opção de uso por uma ferramenta de uso livre, que fosse capaz de agregar em sua própria estrutura operacional aspectos para coleta de dados, armazenamento e consultas. A utilização da ferramenta Prometheus³, é fundamentada na sua reconhecida capacidade de atender especialmente os pontos elencados anteriormente, além de ser aderente a estrutura criada para execução do experimento.

Portanto, de maneira transparente é embarcado ao dispositivo um cliente (*Exporter*), este é responsável por expor os dados observáveis e de interesse para o experimento. Periodicamente, a cada 10 segundos, um agente externo chamado (*Collector*) irá realizar chamadas com o objetivo de capturar os dados expostos pelo *Exporter*. Assim, durante atividade de coleta, cabe ao agente coletor as ações de solicitar os dados providos no cliente para conversão e armazenamento destes na forma de séries temporal.

Todos os dados recuperados pelo coletor são disponibilizados e mantidos em uma estrutura temporal para consultas no Prometheus. Graças a isso, qualquer visualizador capaz de realizar consultas em formato PromQL (*Prometheus Query Language*) estará habilitado para visualizar execuções em andamento ou resgatar dados anteriores. A Figura 15 ilustra a dinâmica entre dispositivos e seus *Exporters* embarcados e o agente externo coletor, e, por consequência, a disponibilidade dos dados para uma *dashboard* de acompanhamento e posterior análise dos resultados.

³ Disponível em <<https://prometheus.io/>>.

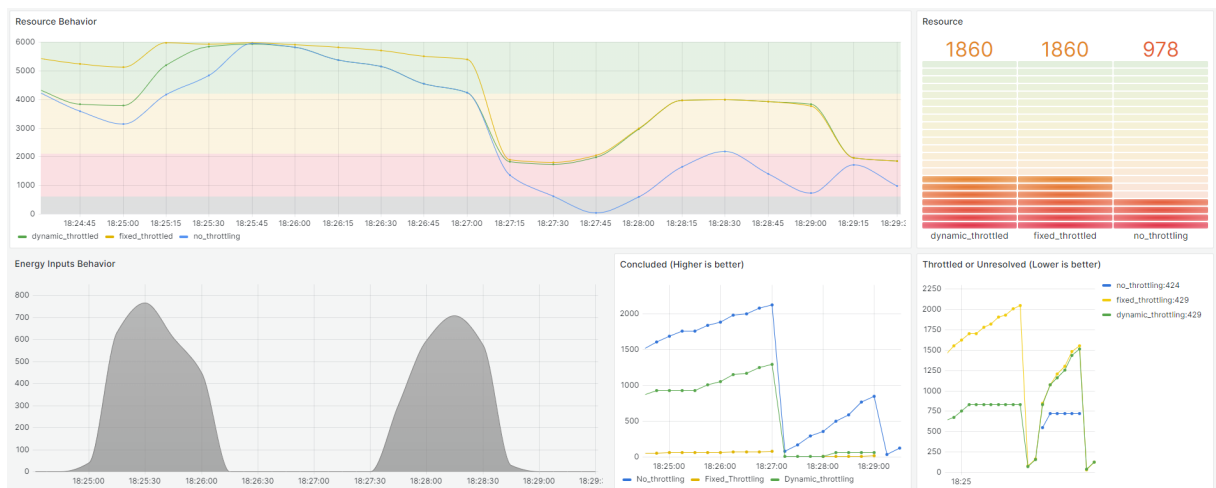
Figura 15 – Coleta e visualização da Execução do Experimento.



Fonte: elaborado pelo autor.

Com a necessidade de visualização dos dados durante execução, foi criado um quadro (*dashboard*) para apresentar os resultados obtidos de forma gráfica. Logo, com o auxílio do Grafana⁴, uma plataforma aberta para análise e visualização de dados em quadros personalizáveis. Foi concebida essa interface de acompanhamento do experimento e a Figura 16 apresenta em aspecto a configuração dos quadros criados. Para avaliação posterior após a execução do experimento, os dados foram exportados, e dispostos em planilha eletrônica capaz de produzir os gráficos necessários para análise dos resultados.

Figura 16 – Dashboard para visualização dos resultados.



Fonte: elaborado pelo autor.

⁴ disponível em: <<https://grafana.com/>>

É pertinente ressaltar que os processos realizados para instrumentalização, em especial o *exporter*, não exerce influência sobre o gasto energético simulado do dispositivo durante execução do experimento. Sua presença é transparente para a implementação, funcionando como um agente independente que não impacta nas dinâmicas energéticas colocadas em análise.

6.6 Execução

O estudo experimental foi realizado em etapas conforme descritos em referencia a Figura 11, assim, as variáveis independentes descritas foram controladas para minimizar possível viés garantindo a consistência e replicabilidade do experimento. Durante a execução, os processos de instrumentalização atuaram em conformidade para que enquanto todos os dados necessários eram coletados, nenhuma variável externa pudesse influenciar nos resultados. Desta forma, as execuções contribuem para obtenção dos dados necessários para analisar e validar os resultados.

No início de uma execução, o *storage* recebe o valor equivalente a sua capacidade máxima de armazenamento, a partir disso, os valores de oferta são disponibilizadas pelo *power supply* e seguem a referencia apresentada na Tabela 3, assim, submetidos a medida que se inicia um novo ciclo c_0, c_1, \dots, c_{23} relativos as jornadas J_1, J_2, \dots, J_{12} . Dado controle do experimento, a execução atende as características gerais de oferta de recursos com certa previsibilidade. Foram realizadas 3 execuções e seus resultados obtidos são em referencia dos mesmos valores fornecidos conforme descrito na Figura 17 na forma de variável independente.

Portanto, ao iniciar um ciclo c , o valor referente é entregue e, por sua vez, armazenado. Passados 6 segundos, um novo ciclo inicia-se encerrando o anterior em decorrência do novo valor ofertado. Este processo de iteração é referente aos ciclos de todas as jornadas e durará $\approx 1728\text{segundos}$, tempo necessário para que o experimento apresente a atuação completa da dinâmica de estados e modos de operação possíveis.

Tabela 5 – Instanciação taxonômica dos dispositivos.

Dispositivo	Operações	<i>Throttling</i>	Atuação			
			Limiar	Ciclos	Meios	Observáveis
no-throttling	≈ 8640	Não	-	288	-	-
fixed-throttling	≈ 8640	Sim	Fixo	288	Vazão	-
dynamic-throttling	≈ 8640	Sim	Adaptativo	288	Vazão	Reserva

Fonte: elaborado pelo autor.

O dispositivo 'no-throttling', representa o comportamento de dispositivos sem nenhum mecanismo de limitação das solicitações, seu objetivo principal é servir como base de comparação a medida que deverá atender todas as demandas solicitadas sem restrições

previamente estabelecidas, com a observação de que caso seu valor armazenado em *storage* seja completamente consumido, caracterizará esgotamento energético, incapacitando o dispositivo a atender qualquer tipo de solicitação.

Por sua vez, 'fixed-throttling' e 'dynamic-throttling' foram implementados com a capacidade de limitar suas operações. Entretanto a atuação do mecanismo *throttling* é distinta entre eles, para o 'fixed-throttling' é realizada restrição mediante limiar fixado apenas em razão da uma vazão de atendimento estipulada previamente sem observar adequação ao cenário energético ou privilégios do solicitante. Por sua vez, cabe a atuação do limiar no 'dynamic-throttling' atuar adaptativamente assim como no anterior regulando a taxa de vazão de atendimento porém observando as condições de sua reserva em *storage*. Sendo assim, a relação entre os modos de operação e o comportamento do limitador, quando presente, esta referenciado na Tabela 6.

Tabela 6 – Expectativa de atendimento das solicitações (*sol*) por ciclo (*c*)

Nome	<i>Throttling</i>	Modo de Operação			
		Abundante ($S^* \geq 70\%$)	Atenção ($70\% > S \geq 50\%$)	Alerta ($50\% > S \geq 10\%$)	Hibernando ($10\% > S \geq 0\%$)
no-throttling	Não	30 <i>sol/c</i>	30 <i>sol/c</i>	30 <i>sol/c</i>	30 <i>sol/c</i> **
fixed-throttling	Sim	15 <i>sol/c</i>	15 <i>sol/c</i>	15 <i>sol/c</i>	0 <i>sol/c</i>
dynamic-throttling	Sim	30 <i>sol/c</i>	22 <i>sol/c</i>	15 <i>sol/c</i>	0 <i>sol/c</i>

* *S* representa o percentual do total energético armazenado em *storage* no momento observado.

** Ao atingir 0% o dispositivo estará esgotado e atenderá 0 *sol/c*.

Fonte: elaborado pelo autor.

Finalmente, o gasto dos recursos é obtido a partir da dinâmica de estados ativo-inativo-hibernando e as condições para permanecer em um determinado estado conforme Figura 13, sendo assim, ao logo de um ciclo, o dispositivo que permanecer ativo durante todo tempo despenderá sua reserva de maneira acentuada quando comparado a outro dispositivo que optou permanecer parcialmente inativo. Toda requisição realizada enquanto um dispositivo esteja em estado Hibernando, sem reserva suficiente para manter-se operacional, será considerada não atendida em razão da indisponibilidade do dispositivo por esgotamento.

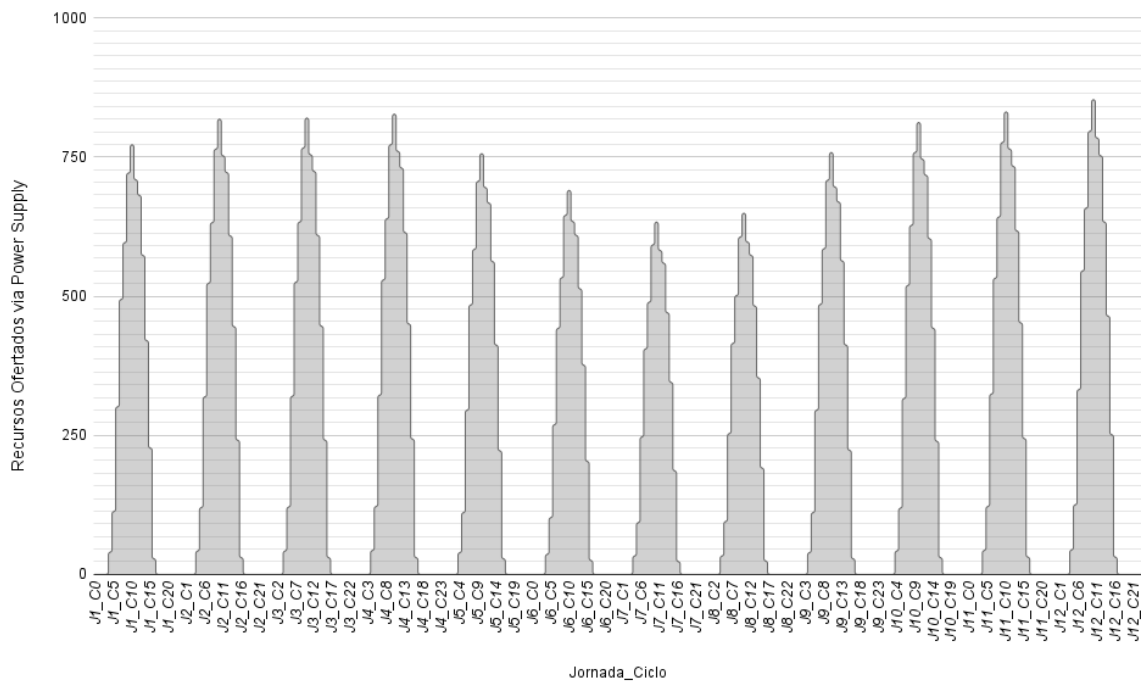
6.7 Avaliação dos Resultados

Durante a atividade de avaliação dos resultados, examina-se em detalhes os valores obtidos a partir das execuções do experimento. Descreve-se os dados coletados que compõe as variáveis independentes em função dos valores utilizados e também é apresentado os valores das variáveis dependentes coletadas com o objetivo de validar o experimento. Parte da avaliação se concentra em apresentar descritivamente os dados coletados, a interpretação dos resultados e por fim, as limitações do estudo experimental.

6.7.1 Descrição dos Dados Coletados

A Figura 17, apresenta o aspecto da distribuição dos valores ofertados aos dispositivos durante o experimento. Estes, quantificaram a primeira variável independente e são utilizados para definir como foi realizada a disponibilização de recursos através do *power supply* no decorrer do tempo, sendo estes disponibilizados estritamente no início de cada ciclo. Sendo o primeiro valor no ciclo c_0 da jornada J_1 e, por sua vez, o ultimo transmitido no início do ciclo c_{23} da jornada J_{12} . Decorrido o tempo disposto para o ultimo ciclo da jornada J_{12} , finda-se a execução do experimento.

Figura 17 – Entradas fornecidas ao storage dos dispositivos.



Fonte: elaborado pelo autor.

Dada a natureza do experimento, toda execução obtêm o mesmo comportamento da oferta energética conforme distribuição definida. Assim os valores já seguem definidos antes da execução e não sofrem impacto diante das características dos dispositivos no contexto de uma ou outra execução. Além disso, é garantido ao dispositivo receber este valor mesmo que esteja momentaneamente esgotado, pois não configura uma solicitação.

A segunda variável independente utilizada, representa as solicitações disparadas contra a interface do dispositivo provedor. Este estímulo tem características tais que, ao atender-las, o provedor intensifica seu consumo energético, pois encontra-se em estado ativo, demandando mais recursos. Isso implica que, à medida que a quantidade das solicitações atendidas aumenta, o consumo de energia do provedor também aumentará proporcionalmente, resultando em um impacto significativo na disponibilidade do dispositivo em

relação com seu desempenho energético. A Tabela 7, apresenta os valores utilizados para as requisições em cada execução do experimento. A precisão indica a distribuição da relação entre total de solicitações em cada execução em referencia para 12 jornadas (8640 solicitações) descrito na Seção 6.6.

Tabela 7 – Solicitações realizadas

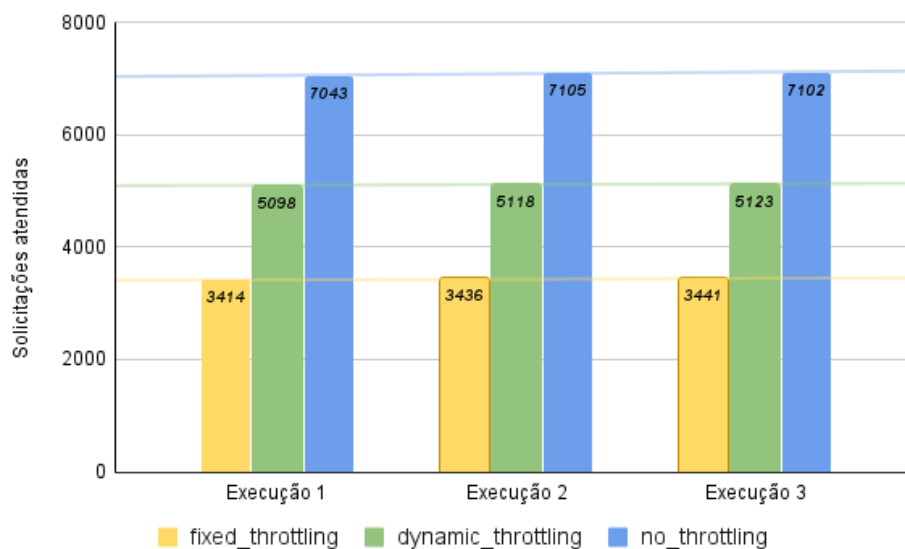
	Duração	Solicitações (<i>sol</i>)		
		Execução 1	Execução 2	Execução 3
1 ciclo	6 <i>seg</i>	29,875	29,86	29,88
1 Jornada (24 ciclos)	144 <i>seg</i>	717	716,75	717,16
12 Jornadas	1728 <i>seg</i>	8604	8601	8606

Fonte: elaborado pelo autor.

Ao finalizar uma execução, as variáveis dependentes obtidas são colhidas para avaliação: a quantidade total de solicitações atendidas ao fim da execução do experimento e a evolução desses valores; a quantidade de solicitações impedidas mediante indisponibilidade do dispositivo por esgotamento. Para analisar a diferença na quantidade de solicitações atendidas, é necessário contrapor dados de reserva em *storage* com os valores ofertados pelo *power supply*, assim buscará justificar a atuação de limitadores.

Ainda sobre os dados coletados, ao final de cada execução é obtido o total de requisições atendidas evidenciando como as características dos agentes limitantes agem sobre a performance dos dispositivos. Na Figura 18, é possível comparar o desempenho dos dispositivos sob a ponto de vista das solicitações atendidas.

Figura 18 – Quantidade de solicitações atendidas por dispositivo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Apenas o dispositivo "no-throttling" apresentou em seu resultado um valor de

indisponibilidade em função de esgotamento energético, de modo geral a Tabela 8 apresenta a performance dos dispositivos em razão das solicitações atendidas e também resume os valores de solicitações que obtiveram cenário de indisponibilidade em razão do total de solicitações realizadas.

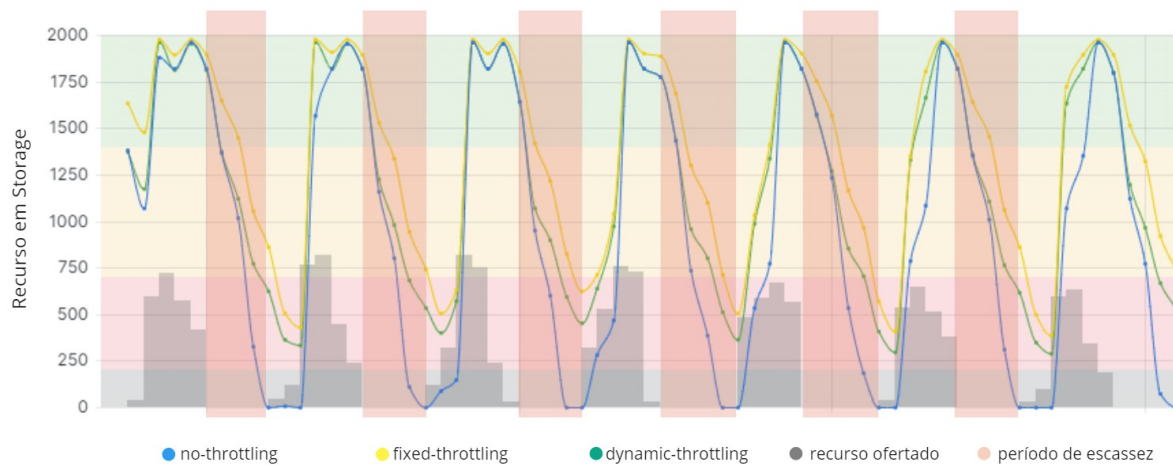
Tabela 8 – Quadro das solicitações realizadas aos dispositivos

Execução	Dispositivo	Solicitações			
		realizadas	atendidas	indisponíveis	% indisponíveis
1	no-throttling	8604	7043	1561	0.1814
	fixed-throttling	8604	3414	0	-
	dynamic-throttling	8604	5098	0	-
2	no-throttling	8601	7105	1496	0.1739
	fixed-throttling	8601	3436	0	-
	dynamic-throttling	8601	5118	0	-
3	no-throttling	8606	7105	1504	0.1747
	fixed-throttling	8606	3441	0	-
	dynamic-throttling	8606	5123	0	-

Fonte: elaborado pelo autor.

Parte da análise é obtida ao observar o gráfico de comportamento referente às capacidades energéticas encontradas no *storage* do dispositivo. A Figura 19 apresenta um recorte dos dados, oferecendo informações suficientes para inferências sobre a dinâmica entre a coleta e a forma de consumo de recursos por todos os dispositivos envolvidos. Essa visualização permite identificar alguns padrões de consumo e tendências de eficiência especialmente nas áreas em destaques verticais que destacam a quantidade mínima de recurso disponibilizado.

Figura 19 – Recorte do comportamento da oferta e uso dos recursos durante execução.



Fonte: elaborado pelo autor.

A análise realizada sobre a Figura 19 permite a visualização clara do comportamento

do dispositivo *dynamic-throttling* enquanto a atuação é adaptada em cada modo de operação com referencia a sua condição apresentada em *storage*, este processo é notável através do amortização na tendencia da linha de consumo enquanto alterna-se as faixas horizontais definidas na relação de cores e representam os modos de operação implementados para experimentação. Sendo assim:

- Zona Verde, representa faixa de atuação em modo Abundante;
- Zona Amarelo, representa faixa de atuação em modo Atenção;
- Zona Vermelho, representa faixa de atuação em modo Alerta;
- Zona Cinza, representa faixa de Hibernação e seu esgotamento energético.

6.7.2 Interpretação dos Resultados

Com as execuções realizadas, é possível inferir sobre como os dispositivos são afetados pelas características dos fatores energéticos aos quais estão expostos. Através dessas execuções, podemos analisar de que forma a energia ofertada durante o experimento impactou no desempenho dos dispositivos permitindo uma compreensão aprofundado profunda dos seus comportamentos e limitações principalmente em ambientes em condições menos preditivas ou controladas.

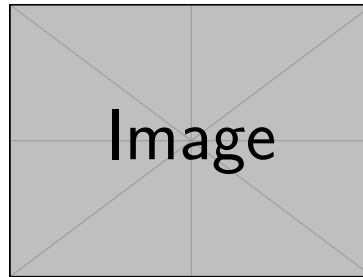
Ao categorizar um dispositivo **IoT** com capacidade de coleta, é preciso fazer menção sobre o papel que este irá desempenhar. Para isso, o experimento atuou gerando cenário para que os agentes examinados pudessem cumprir o papel de provedor desde o momento que este dispositivo é configurado para atender solicitações.

Os resultados obtidos, descrevem a importância dos elementos categorizados em função das características encontradas nos trabalhos relacionados à dispositivos para computação dirigida à energia, a medida que observam-se o comportamento fatores energéticos e os impactos relacionados a busca por evitar um esgotamento energético.

Sobre a capacidade de atender solicitações, a análise do uso de recursos utilizados pelo dispositivo 'no-throttling' na Figura 20 destaca que a continuidade no seu desempenho para atender solicitações é fortemente impactada pelos valores energéticos coletados. Por não possuir nenhum agente limitador experimentado, o dispositivo tem a capacidade de utilizar seus recursos de forma irrestrita, mesmo em cenários de escassez. No entanto, isso pode conduzi-lo à estado de esgotamento, onde ele perde a capacidade de realizar qualquer ação, mesmo um eventual contingenciamento dos efeitos da indisponibilidade, o que pode ter consequências graves.

Posteriormente, ao instanciar os dois dispositivos com diferentes limitadores, com o pretexto de validar a aderência dos conceitos classificados na taxonomia proposta. Os

Figura 20 – Aqui vou colocar uma figura para isolar o comportamento do no-throttling.



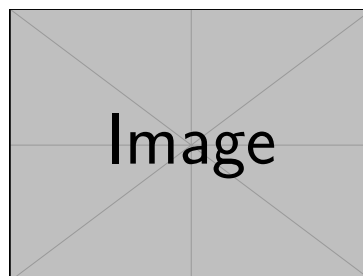
Fonte: elaborado pelo autor.

dados obtidos oriundos da experimentação colaboram com o entendimento dos elementos envolvidos no processo de concepção de um dispositivo sobretudo dada necessidade de implementar os mecanismos de limitação para lidar com os aspectos de disponibilidade.

Em relação ao comportamento esperado dos dispositivos, nota-se que o mecanismo *throttling* exerceu influência ativa como candidato para adequação de comportamento, sobretudo quando considera-se os aspectos dos recursos energéticos envolvidos, necessários para alcançar um grau de disponibilidade estimado em requisito de qualidade do serviço (*Quality of Service*). Ainda sobre estes termos, confrontam-se o desempenho obtido pelos dispositivos 'fixed-throttling' e 'dynamic-throttling', na Figura 21 percebe-se a necessidade de alinhamento sobre a forma como o limitador deverá agir em respeito aos meios possíveis em concordância com resultados esperados.

Graças a isso, é possível perceber que o dispositivo 'fixed-throttling' obteve menor variação de sua reserva energética, porque se valendo da periodicidade da condição de oferta, teve o *throttling* atuando fixamente durante os ciclos, e assim, de maneira constante consumiu seus recursos ao passo que também atendia as solicitações em termos dos limites da taxa de vazão sobre os meios desse dispositivo provedor sem observar necessariamente nenhum critério observável categorizado.

Figura 21 – Comparação comportamento das estratégias de throttling aplicadas.



Fonte: elaborado pelo autor.

Ainda em relação à Figura 21 é correto afirmar também que a diferença de comportamento do dispositivo 'dynamic-throttling' em relação à outra implementação com limites fixos, foi proporcionada pela capacidade incrementada ao *throttling* em observar os fatores de sua reserva energética. Com isso incrementou sua habilidade de gerenciamento

sobre os recursos apoiando por simples QoS presente e atuante na forma de modo de operação, característica viabilizante da capacidade adaptativa. De modo que, apesar dos momentos de escassez, o dispositivo foi capaz de manter-se disponível energeticamente e ainda obter o total de solicitações atendidas superiores aos obtidos pela abordagem do dispositivo que utiliza limitador fixo em função unicamente da vazão de atendimento.

Em todo caso, é prematuro afirmar com base apenas na experimentação, que um dispositivo é simplesmente mais disponível que outro, e de fato não é objetivo do experimento encontrar a melhor implementação. Pois, o numero superior de solicitações atendidas atribuídas ao dispositivo 'no-throttling' não reflete outros critérios de disponibilidade não experimentados e possivelmente descritos na forma de SLA.

Entretando, o simples fato de apresentar intermitência de operação, recorrentemente presente periodicamente quando submetido em cenário de escassez da fonte energética gera indícios que podem ser consideravelmente indesejados ou não tolerados. Caberá o apoio do agente definidor dos termos de operação esperados para fundamentalmente descrever a criticidade e a tolerância para os momentos de indisponibilidade energética bem como da operação como todo.

Finalmente, as instancias experimentadas apresentam, evidenciado pelos resultados obtidos, as referências aos atributos listados para o uso de throttling como atuador em busca de atender critérios de disponibilidade, especialmente para computação dirigida à energia necessária para dispositivos IoT. Por isso, clarifica a ideia de atenção sobre os elementos ligados taxonomicamente ao *throttling* quanto a aplicação mediante análise cuidadosa dos termos de serviço necessários para definir uma configuração de atuação para alcançar disponibilidade esperada.

6.7.3 Limitações do Estudo

As limitações do experimento, passam especialmente pela não examinação de cenários derivados dos estados fundamentais atribuídos para um dispositivo conforme descrito. Apesar de expressar bem a intenção proposta, um dispositivo pode ter níveis de atividades diferentes os quais poderiam ser melhor evidenciados pelo uso de mais de uma interface de acesso ao dispositivo, de tal forma que a configuração de custo teria mais possibilidades mediante nível de atividade empregado no dispositivo.

Algumas características da taxonomia não foram cobertas totalmente no experimento, não é possível examinar o ponto de vista do consumo energético dos agentes enquanto clientes. A definição de protocolo de comunicação também acabou por inviabilizar alguns cenários.

7 Considerações Finais

7.0.1 Implicações

7.0.2 Direções Futuras

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Referências

- ABRARDO, A.; BALUCANTI, L.; MECOCCHI, A. A game theory distributed approach for energy optimization in WSNs. *ACM Trans. Sen. Netw.*, v. 9, n. 4, jul. 2013. ISSN 1550-4859. Place: New York, NY, USA Publisher: Association for Computing Machinery. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2489253.2489261>>. Nenhuma citação no texto.
- ALBREEM, M. A. M. et al. Green internet of things (IoT): An overview. In: *2017 IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*. Putrajaya: IEEE, 2017. p. 1–6. ISBN 978-1-5386-3960-3. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8312021/>>. Citado na página 15.
- AOUDIA, I. et al. Service composition approaches for Internet of Things: a review. *International Journal of Communication Networks and Distributed Systems*, v. 23, n. 1, p. 1, 2019. ISSN 1754-3916, 1754-3924. Disponível em: <<http://www.inderscience.com/link.php?id=10017271>>. Citado na página 32.
- ARNAIZ, D. et al. Energy and relevance-aware adaptive monitoring method for wireless sensor nodes with hard energy constraints. *Integration*, v. 94, p. 102097, jan. 2024. ISSN 01679260. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167926023001396>>. Nenhuma citação no texto.
- ASGHARI, P.; RAHMANI, A. M.; JAVADI, H. H. S. Internet of Things applications: A systematic review. *Computer Networks*, v. 148, p. 241–261, jan. 2019. ISSN 13891286. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1389128618305127>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 31.
- ASHTON, K. That internet of things. *RFID journal*, v. 22, n. 1, p. 1–7, 1999. Citado na página 14.
- AVIZIENIS, A. et al. Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, v. 1, n. 1, p. 11–33, jan. 2004. ISSN 1545-5971. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1335465/>>. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 31.
- BALSAMO, D. et al. Graceful Performance Modulation for Power-Neutral Transient Computing Systems. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, v. 35, n. 5, p. 738–749, 2016. Nenhuma citação no texto.
- BALSAMO, D. et al. Hibernus++: A Self-Calibrating and Adaptive System for Transiently-Powered Embedded Devices. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, v. 35, n. 12, p. 1968–1980, 2016. Nenhuma citação no texto.
- BENHAMAID, S.; BOUABDALLAH, A.; LAKHLEF, H. Recent advances in energy management for Green-IoT: An up-to-date and comprehensive survey. *Journal of Network and Computer Applications*, v. 198, p. 103257, fev. 2022. ISSN 10848045. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1084804521002551>>. Nenhuma citação no texto.

BURNS, B. *Designing Distributed Systems: Patterns and paradigms for scalable, reliable services*. [S.l.: s.n.], 2018. 165 p. Citado na página 19.

CHOI, H.; KOO, Y.; PARK, S. Adaptive operating mode management model for efficient energy harvesting systems. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, v. 16, n. 2, 2020. Publisher: SAGE Publications Ltd. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85081210010&doi=10.1177%2f1550147720907801&partnerID=40&md5=a9588db93331705a9ecfbc2a298932ff>. Nenhuma citação no texto.

DOUMENIS, G.; MASKLAVANOS, I.; TSIAPALI, K. Lightweight operation scheduling for self-powered IoT devices. In: *7th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference, SEEDA-CECNSM 2022*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85142218344&doi=10.1109%2fSEEDA-CECNSM57760.2022.9932933&partnerID=40&md5=74c0e93ff29c0f4d89f82400bd95b23b>. Citado na página 15.

ERICSSON. *Ericsson Mobility Report Update February*. [S.l.], 2024. Acesso em: 15 jan. 2024. Disponível em: <https://www.ericsson.com/4923b9/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2023/emr-q4-2023-update.pdf>. Citado na página 14.

GE, Y.; NAN, Y. Adaptive Energy Management by Reinforcement Learning in Cluster-based Solar powered WSNs. In: *2020 7th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*. Changsha, China: IEEE, 2020. p. 2303–2307. ISBN 978-1-72816-406-9. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9532270/>. Nenhuma citação no texto.

GONG, J. et al. Sleep, Sense or Transmit: Energy-Age Tradeoff for Status Update With Two-Threshold Optimal Policy. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, v. 21, n. 3, p. 1751–1765, mar. 2022. ISSN 1536-1276, 1558-2248. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9524472/>. Citado na página 41.

International Organization for Standardization. *ISO 9000: Quality management systems - Fundamentals and vocabulary*. Genebra, 2015. Citado na página 29.

JABER, A. et al. Reducing the data transmission in sensor networks through Kruskal-Wallis model. In: *2017 IEEE 13th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*. Rome: IEEE, 2017. p. 71–78. ISBN 978-1-5386-3839-2. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8115780/>. Nenhuma citação no texto.

JAYAKUMAR, H. et al. Powering the Internet of Things. In: *Proceedings of the International Symposium on Low Power Electronics and Design*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 375–380. Nenhuma citação no texto.

KANSAL, A. et al. Power management in energy harvesting sensor networks. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, v. 6, n. 4, p. 32, set. 2007. ISSN 1539-9087, 1558-3465. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1274858.1274870>. Citado 4 vezes nas páginas 15, 16, 17 e 28.

KHAIRNAR, P. S.; MEHTA, N. B. Power and Discrete Rate Adaptation for Energy Harvesting Wireless Nodes. In: *2011 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. Kyoto, Japan: IEEE, 2011. p. 1–5. ISBN 978-1-61284-232-5. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5963234/>. Nenhuma citação no texto.

KHAIRNAR, P. S.; MEHTA, N. B. Discrete-Rate Adaptation and Selection in Energy Harvesting Wireless Systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, v. 14, n. 1, p. 219–229, jan. 2015. ISSN 1536-1276. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6851199/>. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 36.

KHAN, J. et al. Energy management in Wireless Sensor Networks: A survey. *Computers and Electrical Engineering*, v. 41, n. C, p. 159–176, 2015. Publisher: Elsevier Ltd. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84927798837&doi=10.1016%2fj.compeleceng.2014.06.009&partnerID=40&md5=86f9fbcdebfd5c25ff80fd1630199d5a>. Nenhuma citação no texto.

KITCHENHAM, B. et al. Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review. *Information and Software Technology*, v. 51, n. 1, p. 7–15, jan. 2009. ISSN 09505849. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950584908001390>. Citado na página 23.

KWASNIK, B. The Role of Classification in Knowledge Representation and Discovery. 1999. Citado na página 21.

LEE, Y.; PARK, M. Energy management for solar-powered IoT devices with performance adjustment. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, p. 22–30, 2018. ISSN 23154462, 23733594. Disponível em: <http://www.ijsgce.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=77&id=406>. Citado na página 34.

LIU, W. et al. Performance of Wireless-Powered Sensor Transmission Considering Energy Cost of Sensing. In: *2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. San Diego, CA, USA: IEEE, 2015. p. 1–7. ISBN 978-1-4799-5952-5. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7417438/>. Nenhuma citação no texto.

LIU, W. et al. Energy Harvesting Wireless Sensor Networks: Delay Analysis Considering Energy Costs of Sensing and Transmission. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, p. 1–1, 2016. ISSN 1536-1276. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7435327/>. Citado na página 36.

MARTINEKUAN. *Throttling pattern - Azure Architecture Center*. 2019. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/throttling>. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 36.

MARTINS, F. R. et al. Atlas brasileiro de energia solar 2. Inpe, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 50.

MERRETT, G. V.; AL-HASHIMI, B. M. Energy-driven computing: Rethinking the design of energy harvesting systems. In: *Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE), 2017*. Lausanne, Switzerland: IEEE, 2017. p. 960–965. ISBN 978-3-9815370-8-6. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7927130/>. Citado 5 vezes nas páginas 16, 18, 26, 34 e 36.

MIORANDI, D. et al. Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad hoc networks*, Elsevier, v. 10, n. 7, p. 1497–1516, 2012. Citado na página 14.

PRAUZEK, M. et al. Energy Harvesting Sources, Storage Devices and System Topologies for Environmental Wireless Sensor Networks: A Review. *Sensors*, v. 18, n. 8, p. 2446, jul. 2018. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/18/8/2446>>. Citado na página 33.

SHAIKH, F. K.; ZEADALLY, S. Energy harvesting in wireless sensor networks: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 55, p. 1041–1054, mar. 2016. ISSN 13640321. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115012629>>. Citado na página 34.

SHEN, Z. et al. Energy-Efficient Activation/Inactivation Strategy for Long-term IoT Network Operation. In: *2019 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCom/IOP/SCI)*. Leicester, United Kingdom: IEEE, 2019. p. 747–752. ISBN 978-1-72814-034-6. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9060217/>>. Nenhuma citação no texto.

SINGH, J.; KAUR, R.; SINGH, D. A survey and taxonomy on energy management schemes in wireless sensor networks. *Journal of Systems Architecture*, v. 111, p. 101782, dez. 2020. ISSN 13837621. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S138376212030076X>>. Citado na página 15.

SLIPER, S. T. et al. Energy-driven computing. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 378, n. 2164, p. 20190158, fev. 2020. ISSN 1364-503X, 1471-2962. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2019.0158>>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 18 e 26.

SUDEVALAYAM, S.; KULKARNI, P. Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 13, n. 3, p. 443–461, 2011. ISSN 1553-877X. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5522465/>>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 17 e 33.

TUTIEMPO. *Tempo em Natal - RN*. 2023. Acesso em: 12 dez. 2023. Disponível em: <<https://pt.tutiempo.net/natal.html>>. Citado na página 50.

USMAN, M. et al. Taxonomies in software engineering: A Systematic mapping study and a revised taxonomy development method. *Information and Software Technology*, v. 85, p. 43–59, maio 2017. ISSN 09505849. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950584917300472>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.

WEI, C.; JING, X. A comprehensive review on vibration energy harvesting: Modelling and realization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 74, p. 1–18, jul. 2017. ISSN 13640321. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117300837>>. Citado na página 34.

WOHLIN, C. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. ACM, London England United Kingdom, p. 1–10, maio 2014. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/2601248.2601268>>. Citado na página 23.

YANG, G. et al. A health-iot platform based on the integration of intelligent packaging, bio-sensor, and intelligent medicine box. *IEEE transactions on industrial informatics*, IEEE, v. 10, n. 4, p. 2180–2191, 2014. Citado na página 15.

YOO, H.; SHIM, M.; KIM, D. Dynamic Duty-Cycle Scheduling Schemes for Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks. *IEEE Communications Letters*, v. 16, n. 2, p. 202–204, fev. 2012. ISSN 1089-7798. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6095298/>>. Nenhuma citação no texto.

ZHANG, Y. et al. Toward a Perpetual IoT System: Wireless Power Management Policy With Threshold Structure. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 5, n. 6, p. 5254–5270, dez. 2018. ISSN 2327-4662, 2372-2541. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8493154/>>. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 41.

ŠMITE, D. et al. An empirically based terminology and taxonomy for global software engineering. *Empirical Software Engineering*, v. 19, n. 1, p. 105–153, fev. 2014. ISSN 1382-3256, 1573-7616. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10664-012-9217-9>>. Citado na página 22.

Anexos