



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 prática para incremento da Disponibilidade energética em Energy-Drive Computing

Paulo Henrique de Queiroz Lopes

Natal-RN
Fevereiro de 2024

Paulo Henrique de Queiroz Lopes

**Throttling como prática para incremento da
Disponibilidade energética em Energy-Drive
Computing**

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 prática para incremento da Disponibilidade energética em Energy-Drive Computing* 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.

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 prática para incremento da Disponibilidade energética em Energy-Drive Computing

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.	20
Figura 2 – Dinâmicas de operação com coleta de energia	20
Figura 3 – Throttling aplicado sobre operação B.	23
Figura 4 – Processo <i>Snowballing</i>	27
Figura 5 – Resultado das Iterações <i>Snowballing</i>	28
Figura 6 – PENSANDO SE VALE APRESENTAR GRAFO COM A a rastreabilidade dos trabalhos aqui.	29
Figura 7 – Categorização dos Trabalhos	30
Figura 8 – Divisão Base da Taxonomia	34
Figura 9 – Visão Geral da Taxonomia.	35
Figura 10 – Throttling:Atuação.	41
Figura 11 – Processo de Estudo Experimental.	49
Figura 12 – Dinâmica do fornecimento energético Dispositivo Provedor.	52
Figura 13 – Máquina de estados do Dispositivo.	54
Figura 14 – Componentes do dispositivo Provedor.	58
Figura 15 – Coleta e visualização da Execução do Experimento.	61
Figura 16 – Dashboard para visualização dos resultados.	61
Figura 17 – Característica do ambiente de simulação e valores coletados.	64
Figura 18 – Quantidade de solicitações atendidas por dispositivo.	66
Figura 19 – Recorte do comportamento da oferta e uso dos recursos durante execução.	67
Figura 20 – Aqui vou colocar uma figura para isolar o comportamento do no-throttling.	68
Figura 21 – Comparação comportamento das estratégias de throttling aplicadas. . .	69

Lista de tabelas

Tabela 1	–	<i>Snowballing</i> : Critérios de Exclusão.	27
Tabela 2	–	Estratégias definidoras dos ciclos de operação.	32
Tabela 3	–	Valores ofertados por ciclo	56
Tabela 4	–	Modos de Operação dos Dispositivos.	59
Tabela 5	–	Instanciação taxonômica para os dispositivos experimentados.	62
Tabela 6	–	Expectativa de atendimento das solicitações (<i>sol</i>) por ciclo (<i>c</i>)	63
Tabela 7	–	Solicitações realizadas	65
Tabela 8	–	Quadro das solicitações realizadas aos dispositivos	66

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
1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	15
1.3	Metodologia	15
1.4	Organização da Dissertação	16
2	CONCEITOS RELACIONADOS	17
2.1	Internet das Coisas	17
2.2	Computação Dirigida à Energia	19
2.2.1	Operações Neutra-Energética	19
2.2.2	Operação Neutra-Potencia	21
2.2.3	Operação Intermitente	21
2.3	A prática <i>Throttling</i>	22
2.3.1	Considerações	23
2.4	Taxonomia	24
2.5	Considerações Finais	25
3	REVISÃO DO ESTADO DA ARTE	26
3.1	Protocolo	26
3.1.1	Critérios de inclusão e exclusão	26
3.1.2	Processo	27
3.2	Resultados	29
4	TAXONOMIA	33
4.1	Organização	33
4.2	Taxonomia Proposta	34
4.3	Agentes IoT	35
4.3.1	Dispositivo Provedor	35
4.3.2	Dispositivo Cliente	36
4.4	Operações	36
4.5	Recursos Energéticos	37
4.5.1	Capacidade de Coleta	37
4.5.2	Capacidade de Armazenamento	39
4.6	<i>Throttling</i>	40

4.6.1	Atuação	41
4.6.2	Motivadores	46
5	ATIVIDADES	48
6	ESTUDO EXPERIMENTAL PRELIMINAR	49
6.1	Metodologia	49
6.2	Idealização	51
6.3	Definição das Variáveis Independentes	55
6.4	Definição dos Dispositivos	57
6.5	Instrumentalização	59
6.6	Execução	62
6.7	Avaliação dos Resultados	63
6.7.1	Descrição dos Dados Coletados	64
6.7.2	Interpretação dos Resultados	67
6.7.3	Limitações do Estudo	70
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
7.0.1	Implicações	71
7.0.2	Direções Futuras	71
	REFERÊNCIAS	72
	ANEXOS	77

1 Introdução

Nos últimos anos, o avanço das tecnologias de comunicação e a miniaturização dos componentes têm impulsionado significativamente o crescimento da Internet das Coisas (*Internet of Things* - **IoT**). Seus dispositivos estão sendo incorporados em diversas áreas, desde residências inteligentes até cidades conectadas, transformando a forma como interagimos com o mundo ao redor. Esses dispositivos **IoT**, porém, enfrentam um desafio crítico: a eficiência de uso dos recursos energéticos. Disponibilidade e conectividade constante exigem soluções inovadoras para a gestão de energia, seus esforços resultaram no desenvolvimento de dispositivos sob novo paradigma, os sistemas dirigidos à energia (*Energy-Driven Computing*), conceito apresentado por Merrett e Al-Hashimi (2017) .

A possibilidade de extração energética de fontes de energia sustentáveis através dos sistemas de coleta (*Energy Harvesting System*), permitiu aos dispositivos responderem às questões inerentes a manter-se operacional mesmo em cenários de intermitência no fornecimento de energia. As soluções comumente passam por utilizar um mecanismo intermediário capaz de armazenar energia com intenção de utilizar esse valor como suplemento nos cenários de variação da performance da coleta (KANSAL et al., 2007).

Embora dispositivos **IoT** alimentados por um armazenamento energético sejam adequados para muitas aplicações, suas vidas úteis são limitadas pela capacidade fixa do componente embarcado (SLIPER et al., 2020). Desafios atuais para estes dispositivos estão intrinsecamente ligados à prática recorrente do uso de baterias como componente de armazenamento energético. Aspectos sobre o uso destes componentes, estão negativamente relacionados com custo, volume, impacto ambiental, descarte, reciclagem e vida útil dos componentes e redirecionam os esforços em busca por soluções alinhadas à sustentabilidade como visto em Albreem et al. (2017).

Sistemas dirigidos à energia são projetados para otimizar o consumo energético, possibilitando sua operação por longos períodos mesmo com recursos limitados. Esses sistemas incorporam diversas características distintivas que os tornam essenciais no ecossistema **IoT**. Estes dispositivos não são projetados apenas considerando as necessidades da aplicação, mas também levam em conta o ambiente e as características energéticas impostas em resposta a desafio energético aplicado.

Por meio disso, é possível projetar dispositivos com capacidade de operar mesmo em cenários de intermitência no fornecimento energético, reduzindo a necessidade de componentes de armazenamento e, em alguns casos, até mesmo dispensando sua utilização. Sistemas intermitentes **ICS** são projetados não sob a perspectiva de evitar falhas energéticas, mas como os dispositivos podem atuar aceitando a possibilidade de intermitência energética

Sliper et al. (2020).

Ademais, é observado os esforços relacionados à maneira como os dispositivos alinham seu comportamento com as demandas operacionais e o fornecimento energético. Este equilíbrio entre disponibilidade e a necessidade de energia é fundamental para garantir o funcionamento eficiente e confiável dos dispositivos IoT com restrições energéticas.

Ao combinar essas características, os sistemas dirigidos à energia concentram esforços para que os dispositivos operem de forma eficiente e sustentável, atendendo às exigências de uma ampla gama de aplicações. Desde demandas relacionadas à saúde até automação industrial, a eficiência energética proporcionada por esses sistemas é essencial para a viabilidade e o sucesso da IoT em larga escala (ASGHARI; RAHMANI; JAVADI, 2019).

1.1 Justificativa

Dispositivos projetados segundo computação dirigida à energia, precisam garantir certa disponibilidade à medida que adequa-se ao cenário energeticamente restrito. No entanto, alcançar disponibilidade nestes cenários representa desafios consideráveis (SUDEVALAYAM; KULKARNI, 2011), especialmente quando se trata de dispositivos que dependem da coleta e gerenciamento eficiente de recursos energéticos .

Neste contexto, a estratégia para manter-se energeticamente disponível passa pela prática de restrição da performance como visto em Khairnar e Mehta (2015); Doumenis, Masklavanos e Tsiapali (2022); Gong et al. (2022). A prática se baseia em reduzir o potencial de consumo energético do dispositivo através da restrição de atividades ou performance, adequando-se ao cenário encontrado.

Quanto a eficiência sobre o consumo energético, as soluções concentram-se especificamente em seu cenário de aplicação observado. Muito em decorrência do que Sliper et al. (2020) escreveu. No seu estudo, o autor chama atenção para a aplicabilidade dos modos de operação: intermitente, neutro-potência e neutro-energética, que, embora tratem sobre aspectos energéticos, divergem por exemplo, no entendimento sobre a presença de um componente auxiliar de armazenamento energético, impactando na definição de quais aspectos considerar para implementar um mecanismo *Throttling* como ferramenta limitadora, tal qual definido em (BURNS, 2018).

A classificação dos cenários de aplicação é essencial para identificar os elementos mínimos necessários para processo de implementar o mecanismo *dthrottling*, considerando as especificidades de cada contexto e os termos para disponibilidade a serem alcançadas.

Além disso, a ausência de outras classificações, dificulta a possibilidade de comparação e análise dos diversos aspectos e abordagens presente nas soluções disponíveis para

o desafio do consumo energético eficiente.

1.2 Objetivos

Este trabalho contempla como objetivo geral definir e organizar os aspectos necessários para orientar a aplicação da prática *Throttling* recorrentemente presente dispositivos **IoT** em computação dirigida à energia. Para isto, busca-se:

- Classificar os elementos recorrentemente presentes em computação dirigida à energia quanto a prática de *throttling* em busca de disponibilidade do ponto de vista energético;
- Orientar o processo de implementação da classificação proposta necessários para prática de restrição *Throttling*.

1.3 Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos, foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos:

1. Revisão da Literatura;
2. Classificação dos elementos presentes na forma de taxonomia;
3. Atividades para implementação da taxonomia proposta;
4. Estudo Experimental e Avaliação dos resultados.

A revisão do estado da arte desempenhou um papel fundamental na análise dos trabalhos relacionados à adaptação do comportamento dos dispositivos **IoT** em cenários de restrição energética, especialmente em relação às práticas de limitação de desempenho em busca de disponibilidade energética.

Uma vez conhecidas as características envolvidas na definição do agente limitador, deu-se início ao processo de sistematização e classificação dos aspectos observados na literatura. A abordagem sistemática foi realizada por meio de uma taxonomia, baseada no guia proposto por Usman et al. (2017). Após a definição do modelo de classificação, foram apresentadas as classes e subclasses que estruturam a taxonomia. Essa construção tem como base os principais aspectos envolvidos na atuação do mecanismo limitador nos dispositivos **IoT** em computação dirigida à energia.

Para avaliar as etapas anteriores, foi executado um estudo experimental preliminar como prova de conceito, o qual permitiu, a partir da instanciação das classes necessárias,

observar a viabilidade de implementação enquanto a atuação dos agentes limitantes em diferentes cenários de experimentação é observada. Com isso, espera-se que a taxonomia e as atividades realizadas possam ser utilizadas como apoio ao processo de implementação do mecanismo de throttling em cenários IoT dirigidos à energia.

1.4 Organização da Dissertação

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.

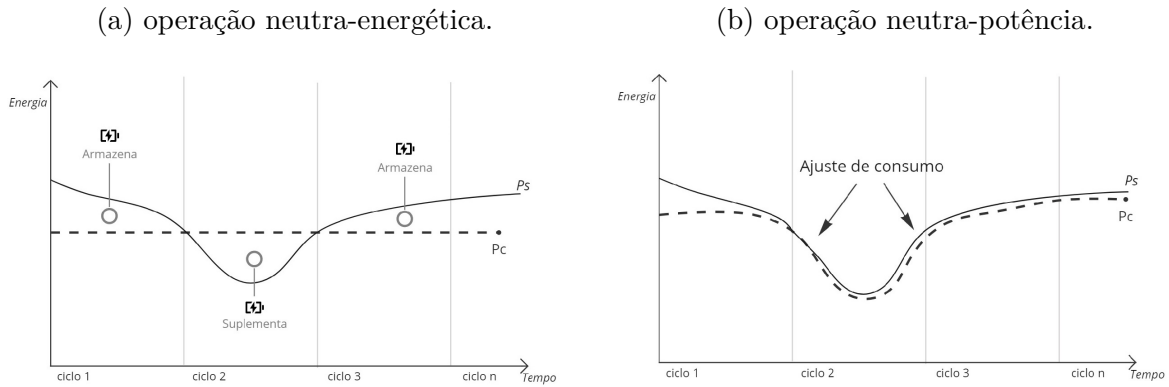


Fonte: adaptado de SUDEVALAYAM; KULKARNI (2011)

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 A prática *Throttling*

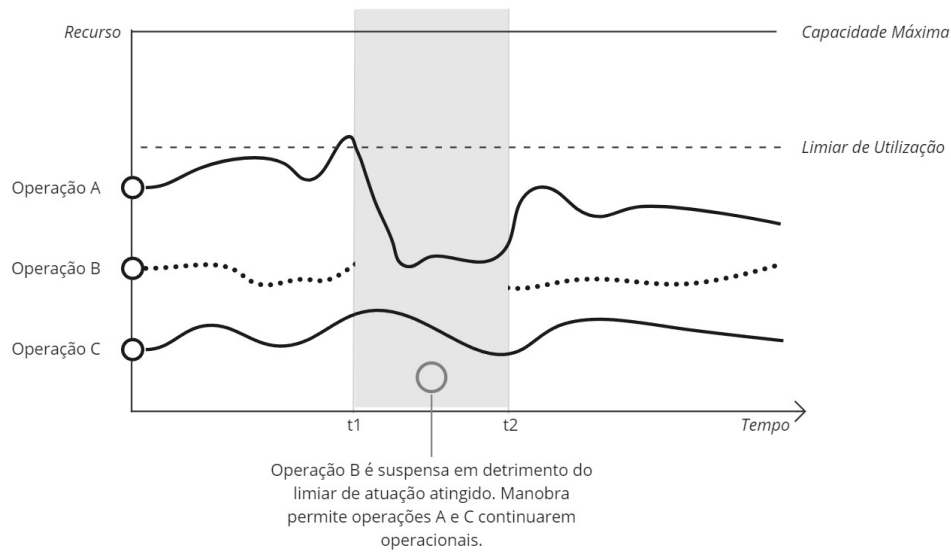
Como ponto de partida, é preciso destacar a importância da adoção dos ditos padrões como solução sobre os problemas ligados à como lidar com o comportamento (*behavior patterns*) aplicado em sistemas distribuídos. Tais soluções carregam aspectos intrínsecos à experiência adquirida mediante a recorrência 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 a prática de realizar *Throttling* é fazer com que dado sistema 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 essa prática pode ser bastante necessário dado a dinâmica de dispositivos desconhecidos e novos sistemas que podem ser adicionados a um ambiente. *Throttling* pode ser implementado seguindo as estratégias elencadas por Ekuan (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 EKUAN (2019)

2.3.1 Considerações

Assim como outras práticas aplicadas a sistemas distribuídos, existem uma série de considerações a serem tomadas mediante a decisão de implementar um mecanismo de throttling, uma análise do trabalho (EKUAN, 2019) aponta alguns tópicos que possibilitam análise de conformidade face aos problemas e necessidades ao adotar *throttling* como prática de controle de capacidades dos sistemas.

Utilizar mecanismos de limitação 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 mecanismos de *throttling* devem 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 limitador é interessante exercer algum padrão sobre os retornos das solicitações negadas motivadas pela ação restrita, 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 da prática de restrições utilizadas no contexto sistemas distribuídos, em específico a adoção do mecanismo Throttling, como um candidato adequado para controle de comportamento dos dispositivos incentivado pela 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.

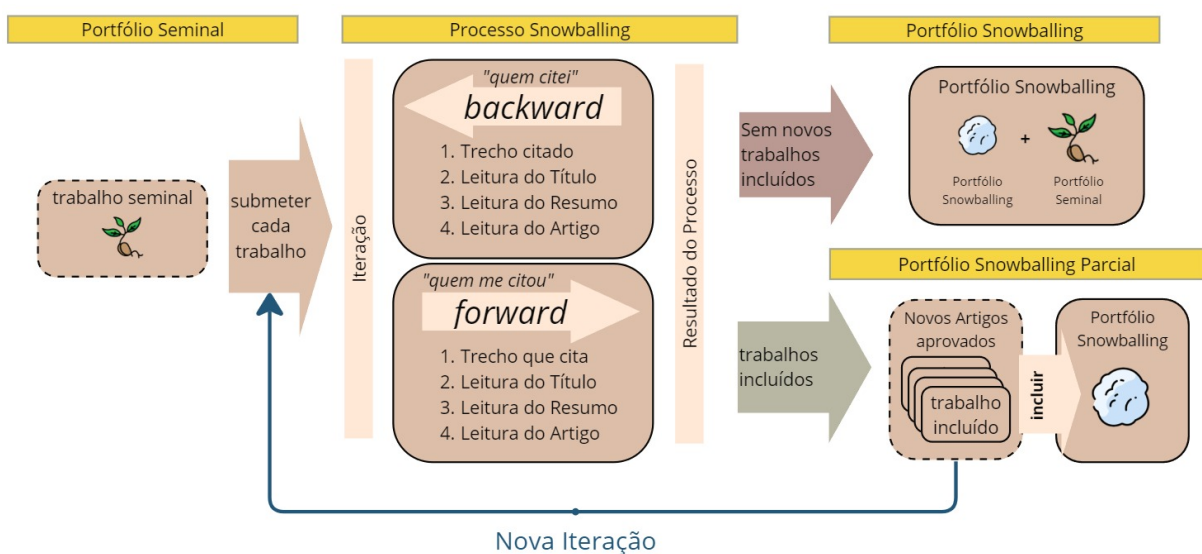
Critério de Exclusão	
CE-1	Não escrito em inglês.
CE-2	Sem aderência aos eixos temáticos.
CE-3	Sem indícios diretos com às questões de pesquisa.
CE-4	Artigos derivações do mesmo autor ou resumo.
CE-5	Tutoriais, Capítulos de livros e Relatórios técnicos (Literatura Cinza).
CE-6	Trabalhos duplicados.
CE-7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

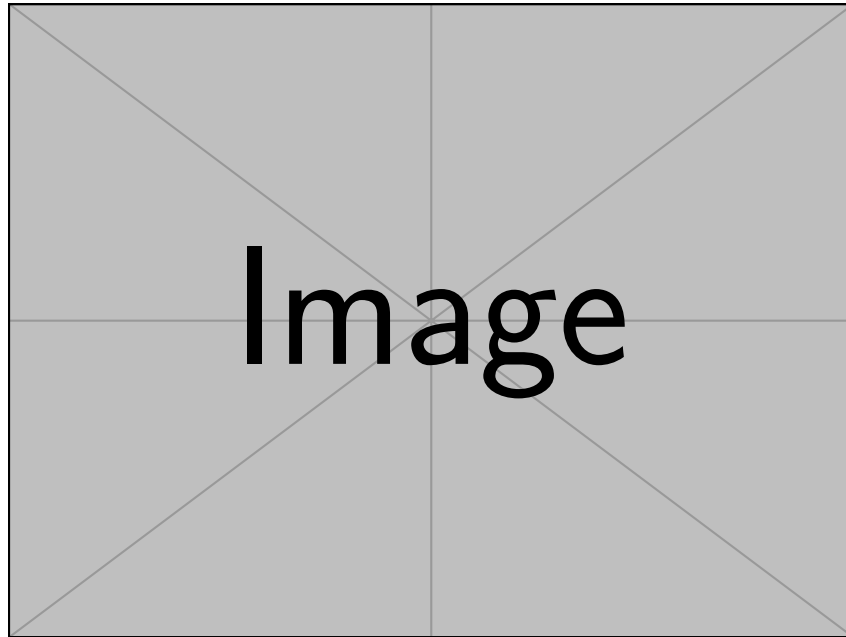
Figura 5 – Resultado das Iterações *Snowballing*.



Fonte: elaborado pelo autor.

A dinâmica de inclusão e filtragem de trabalhos relacionados, proporcionou visitar ao todo 1132 trabalhos por método *backward*, além de 3582 trabalhos por *forward* gerando uma cobertura total de 4714 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 25 trabalhos que serviram como base para o estudo, os resultados obtidos estão descritos na Seção 3.2.

3.2 Resultados

Foi característica do portfólio de trabalhos a apresentação dos desafios enfrentados pelos agentes **IoT** com capacidade de coleta de energia ao realizar suas funções, mesmo diante de restrições energéticas. Nestes trabalhos, foi observada a presença de mecanismos de ajuste do comportamento que utilizam observações de determinadas variáveis para tomar decisões sobre como o dispositivo deve conduzir seus ciclos em diferentes cenários.

Sendo assim, mediante desafios apresentados nos estudos quanto à gestão energética desses dispositivos, foi considerado categorizar dos trabalhos em função dos grupos definidos no estudo (KHAN et al., 2015). Por análise de atuação orientada à dados, os trabalhos apresentam a possibilidade de atividades em respeito a previsibilidade dos dados de coleta e demanda energética. Assim, a categorização puramente baseada nos ciclos (*Duty-Cycle*) do dispositivo carregam os fatores de observação atrelados aos aspectos energéticos de coleta e armazenamento como motivadores para ajustes no tempo de ciclos ou ocorrência destes para adaptar-se aos critérios de energéticos impostos.

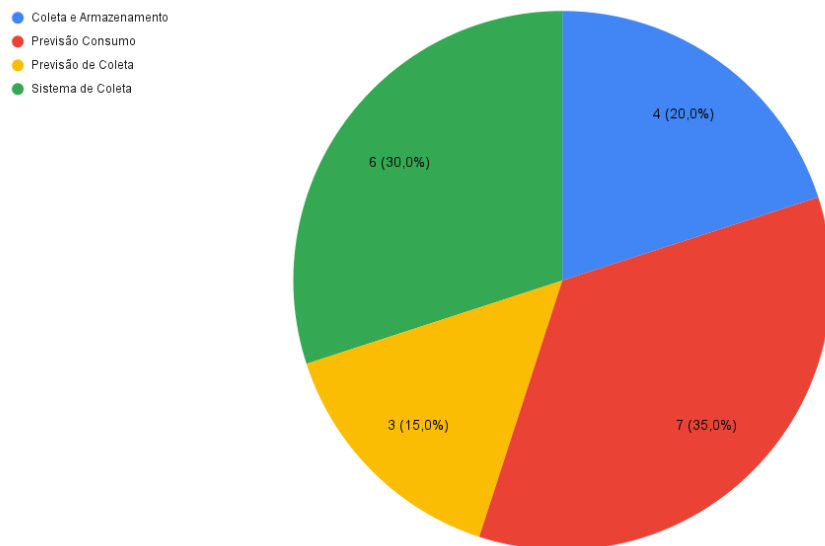
Portanto, diante dos desafios identificados nos estudos sobre a gestão energética desses dispositivos, optou-se por categorizá-los com base nos grupos definidos no estudo

realizado por (KHAN et al., 2015). Nesse contexto, um grupo de trabalhos se concentram aos desafios de definir os ciclos de operação observando eventos relacionados aos aspectos energéticos de coleta e armazenamento respectivamente. Por sua vez, ao abordar o processo de definir seus ciclos, alguns estudos apontam avanços em técnicas que buscam prever o comportamento do dispositivo, em especial sua demanda e capacidade de coleta de energia.

Em última análise, todos os esforços convergem para a análise de como os estudos moldam o escopo decisório da ação do agente limitador (*throttling*) sobre seus ciclos. Além disso, o portfólio alcançado inclui cinco trabalhos categorizados como filosóficos, caracterizados pela apresentação de contribuições puramente conceituais. Esses trabalhos se concentram na análise teórica dos problemas relacionados à computação voltada para a energia, sem necessariamente fornecer implementações práticas, o que se alinha ao modelo de categorização proposto por Wieringa et al. (2006).

Um ponto de destaque é que, à primeira vista, pode-se imaginar menor necessidade da presença dos mecanismos limitantes, especialmente onde dispositivo esta preparado para realizar operações transientes. No entanto, apesar da característica energética, ainda persiste necessidade de mecanismos limitadores, desde que o dispositivo tenha por objetivo operar seus ciclos de forma parcial, motivado pelo iminente esgotamento energético ((MERRETT; AL-HASHIMI, 2017); (SLIPER et al., 2020)).

Figura 7 – Categorização dos Trabalhos



Fonte: elaborado pelo autor.

Devido à necessidade de caracterizar as operações realizadas pelos dispositivos, há uma uniformidade quanto ao uso do termo "ciclo" (*Duty-Cycle*) quando se pretende fazer referência às janelas de operação, nas quais o dispositivo realizará as atividades a que se propõe. Mesmo os trabalhos categorizados como soluções orientadas previsão

conforme visto na categorização apresentada na Figura 7 apoiam-se na definição proposta por Kansal et al. (2007), que trata ciclos como a referencia do tempo de duração das atividades que induzem um dispositivo à mudança de estados e, por sua vez, requerem capacidade energética (Jaber et al. (2017); Shen et al. (2019); Balsamo et al. (2016b); Lee e Park (2018)).

As soluções e propostas de adaptação dos ciclos podem ser categorizadas da seguinte forma: Primeiramente, destacam-se as abordagens que se concentram nos desafios relacionados à coleta de energia e, como consequência desses eventos, propõem mecanismos de controle e ajustes orientados a capacidade de coleta. Por exemplo, Doumenis, Masklavanos e Tsiapali (2022) descreve uma análise sobre o balanço energético coletado para definir a utilização energética do ciclo. Por outro lado, (Choi, Koo e Park (2020); Balsamo et al. (2016a); Khairnar e Mehta (2015);) exploram, a partir da performance instantânea dos sistemas de coleta, a descoberta de motivadores para modelar a atuação do agente limitante, buscando ciclos com características neutro-potenciais.

Apesar de não se concentrar em uma solução específica, Kansal et al. (2007) apresentam os conceitos fundamentais da teoria de coleta de energia, determinante para computação dirigida à energia. No estudo realizados por (Khairnar e Mehta (2011); Sudevalayam e Kulkarni (2011)) é considerada a possibilidade de incorporar um componente de armazenamento intermediário em conjunto com as análises de coleta, para definir como o agente limitante irá agir sobre os ciclos. Nesta direção, a proposta de Yoo, Shim e Kim (2012) busca comparar os valores de coleta e armazenamento para estimar como deverá ser o comportamento do dispositivo nos ciclos futuros.

Para Liu et al. (2016), a solução apresentada considera os custos de transmissão para definir o gasto energético durante os ciclos e assim decidir como operará. Em (Ge e Nan (2020); Arnaiz et al. (2024)) é utilizado técnicas de aprendizado de máquina em busca de prever coleta e consumo de energia respectivamente. Ambos buscam antecipar características energéticas vindouras, bem como demandas ao passo que podem adaptar-se suavemente até alcançar patamar pretendido.

Outra abordagem encontrada é a desativação de recursos conforme necessário, como apresentado por Shen et al. (2019). Durante os ciclos, os dispositivos podem reduzir ou desligar o consumo energético de componentes não essenciais, entrando em modo restrito para reduzir o uso de energia e se adequar aos valores armazenados. Em (Zhang et al. (2018); Gong et al. (2022)), são utilizados os processos estatísticos como tomadores de decisão, baseadas em uma certa previsibilidade no fornecimento de energia e favorecido pelas características de noção do ambiente *Context-Awareness* em que o dispositivo IoT se encontra. Finalmente, a Tabela 2 apresenta um resumo dos contextos nos quais o agente limitador utiliza como motivador para atuar sobre a dinâmica dos ciclos no dispositivo.

Tabela 2 – Estratégias definidoras dos ciclos de operação.

Baseado em	Referência
Sistema de Coleta	Choi, Koo e Park (2020)
	Balsamo et al. (2016a)
	Balsamo et al. (2016b)
	Khairnar e Mehta (2015)
	Benhamaid, Bouabdallah e Lakhlef (2022)
Sistema de Coleta e Status Armazenamento	Doumenis, Masklavanos e Tsiapali (2022)
	Kansal et al. (2007)
	Khairnar e Mehta (2011)
	Sudevalayam e Kulkarni (2011)
	Yoo, Shim e Kim (2012)
Previsão de coleta	Ge e Nan (2020)
	Zhang et al. (2018)
	Gong et al. (2022)
Previsão de consumo	Arnaiz et al. (2024)
	Lee e Park (2018)
	Luo et al. (2017)
	Liu et al. (2016)
	Liu et al. (2015)
	Jaber et al. (2017)
	Shen et al. (2019)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar as características dos dispositivos **IoT** que operam em restrições energéticas, a atuação dos mecanismos limitantes e as estratégias utilizadas para definir seus ciclos de operação, surge a necessidade de uma organização sistematizada dos fatores apresentados. Essa organização em formato taxonômico permite identificar e classificar os diversos aspectos que influenciam e demandam atenção na implementação do *throttling*, uma alternativa no processo de controle do comportamento durante os ciclos dos dispositivos.

Finalmente, a criação de taxonomia adequada possibilita uma compreensão clara das diferentes variáveis envolvidas, como características dos dispositivos, atividades realizadas, demandas de energia e estratégias de atuação do *throttling*. Isso permitiria uma abordagem mais sistemática na implementação do padrão, garantindo uma gestão eficaz dos recursos energéticos o que favorece o incremento de disponibilidade enquanto conserva suas capacidades energéticas.

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* aos dispositivos em computação dirigida à energia. Além disso, é preciso levar em consideração a orientação do trabalho junto aos critérios de dependabilidade, especialmente ao concentrar-se sobre o atributo disponibilidade, elemento participante nos critérios apresentados na taxonomia proposta por AVIZIENIS et al. (2004). Por definição, 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

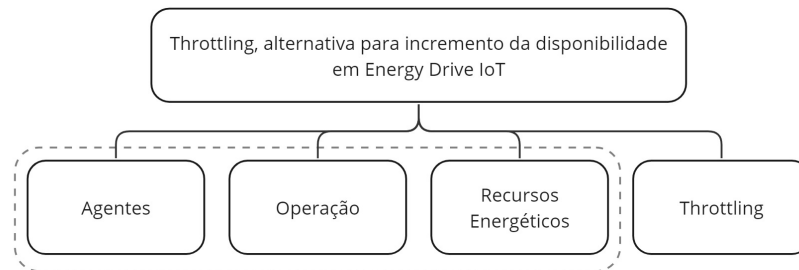
As classes descritas foram categorizadas para acomodar os elementos envolvidos de acordo com os critérios que representam. À esquerda, apresenta-se as características dos dispositivos IoT encontrados em cenários de restrições energéticas. Primeiramente, as classes foram projetadas para organizar os elementos 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 necessidades dos dispositivos e justificam o interesse sobre ações que aumentem sua disponibilidade enquanto manter suas capacidades energéticas. Assim, os elementos participantes da taxonomia podem ser visualizados na Figura 8.

Enquanto ao fator que caracteriza um agente, Avizienis et al. (2004) aplica a dinâmica de definição enquanto papéis, proporcionando clara divisão entre agentes em referencia ao que desempenha em relação ao ambiente inserido. Sendo assim, são propostos dois grupos: os clientes, que atuam ativamente realizando solicitações ou de forma passiva operam sobre eventos realizados; um segundo grupo, os provedores, para estes cabe a responsabilidade de compartilhar seus recursos com outros consumidores através de uma interface conhecida, de acordo com 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. Representam operações, o conjunto de atividades solititadas e atendidas durante os ciclos de operação dos dispositivos. Sendo assim, os elementos classificadores foram: *Agentes*, *Recursos* e *Operações*.

Além disso, identificou-se a necessidade de classificar as características energéticas dos elementos participantes, uma vez que os agentes dependem ativamente de algum fator energético para exercer suas capacidades. Portanto, os recursos energéticos emergem como uma classe fundamental de análise para tomada de decisão sobre a aplicação dos mecanismos de limitação dos ciclos.

Figura 8 – Divisão Base da Taxonomia



Fonte: elaborado pelo autor.

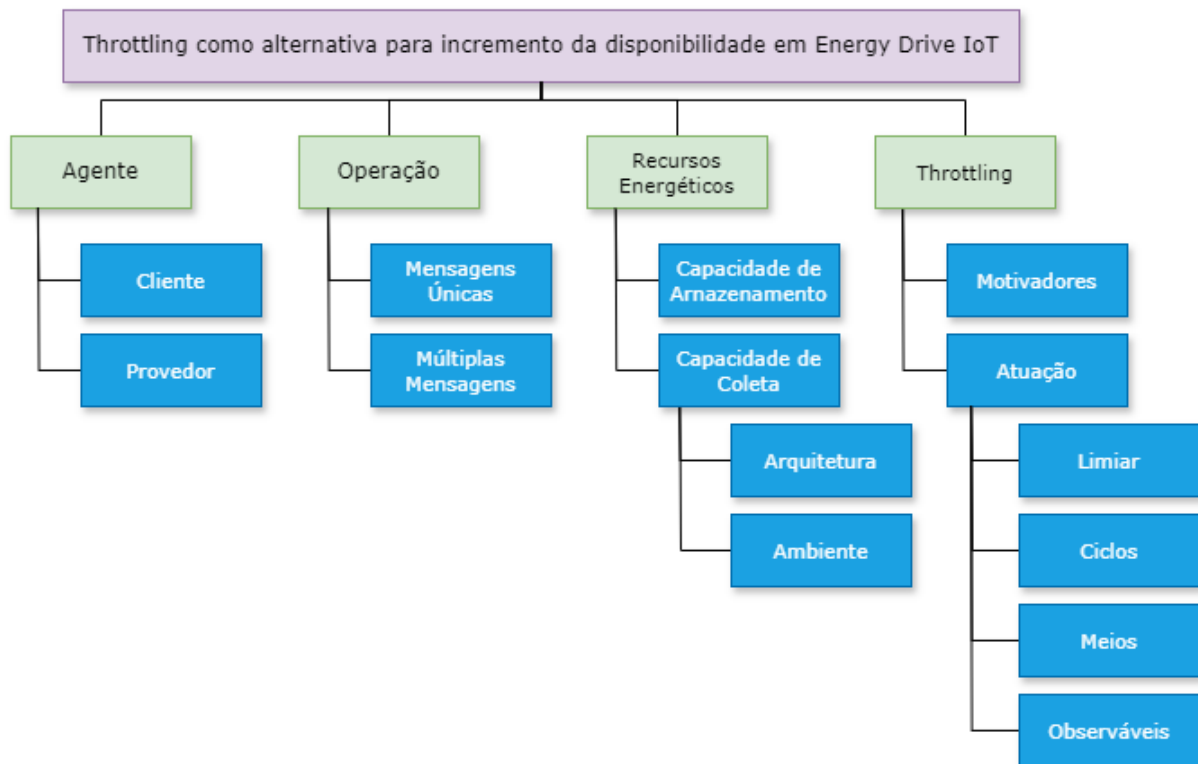
Além disso, acomodam-se os elementos envolvidos no processo de gestão do comportamento de um dispositivo através do padrão *Throttling*. Nesta classe, dois ramos principais são derivados: quanto a atuação e motivadores, respectivamente. A classe Atuação engloba os elementos relacionados ao processo de ajuste de comportamento, incluindo Limiar (*Thresholding*), Ciclos, Meios e Observáveis. Por fim, a classe Motivação é sugerida para declarar as intenções encontradas enquanto o dispositivo busca o incremento de disponibilidade.

4.2 Taxonomia Proposta

A Figura 9 apresenta a taxonomia com os pontos abordados na observação dos aspectos relacionados ao uso do padrão *Throttling* como alternativa para garantir disponibilidade nos agentes IoT. O principal objetivo é dispor visualmente os elementos relacionados ao tema e contemplar a organização dos tópicos envolvidos. Com isso, busca-se compreender os objetivos ao criar a taxonomia:

1. Auxiliar a compreensão dos conceitos relacionados ao escopo que se define um agente IoT em computação dirigida à energia e como o padrão *Throttling* atua como agente colaborador no processo de ajuste de características nos ciclos;
2. Oferecer suporte às definições necessárias para uso do padrão *Throttling* ligados ao contexto IoT da computação dirigida à energia;
3. Facilitar a descoberta das relações entre os elementos do campo de análise.

Figura 9 – Visão Geral da Taxonomia.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 Agentes IoT

Cada agente é essencialmente uma entidade que tem a capacidade intrínseca de interagir com outros agentes sejam digitais ou físicos, os chamados dispositivos. Eles possuem propriedades fundamentais, funcionalidade, desempenho e outras já definidas por Avizienis et al. (2004). No contexto IoT, é crucial considerar a capacidade de se comunicar com outras entidades, além do compartilhamento de recursos (ASGHARI; RAHMANI; JAVADI, 2019), características intrínsecas nos dispositivos analisados.

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 dispõe 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 atender as solicitações. O resultado deste processo pode ser percebido como estado externo caso necessário, acessível por meio de interface em resposta às solicitações ou provida na forma de eventos acessíveis aos clientes.

À medida que as solicitações são recebidas pelo dispositivo provedor durante os ciclos, isso influencia diretamente na forma como ele lida com seus recursos. Essas

solicitações motivam a dinâmica de mudanças de estado internas e, consequentemente, têm um impacto direto nos custos operacionais do dispositivo ao longo dos ciclos. Por exemplo, considere um sistema de iluminação urbana que interage com dispositivos em um ambiente por meio de solicitações. Esse sistema pode enviar solicitações aos dispositivos para mudar de estado e ativar um recurso em resposta a um evento específico. No caso, essa ação afetará o uso dos componentes necessários devido ao atendimento das solicitações durante ciclos, impactando assim na forma como o provedor utilizou seus recursos.

4.3.2 Dispositivo Cliente

Um dispositivo cliente é um agente físico responsável por receber o estado externo de dispositivos provedores por meio de interface disponibilizada. Ele pode consumir recursos provenientes de um ou mais provedores, dependendo da operação que precisar cumprir. De modo ativo, cabe ao cliente comunicar-se com os provedores necessários por meio de solicitações para atender suas operações. No entanto, em um caso reativo, um cliente pode permanecer inativo enquanto aguarda um evento necessário para, mediante estímulo, ativar-se com o objetivo de realizar alguma operação.

4.4 Operações

Operações consistem no fluxo de mensagens comunicáveis trocadas entre agentes clientes e provedores. Uma operação pode ser realizada quando um cliente solicita o estado de um provedor por meio de mensagens, ou quando um provedor ativamente disponibiliza um estado. É preciso destacar também que operações podem ocorrer em contexto estrito ao próprio dispositivo, neste caso o estímulo de atuação é interno e neste ponto o dispositivo estará atendendo solicitações para si mesmo, caracterizando cliente e provedor da solicitação.

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, constituindo a 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. Assim definido, uma mensagem carrega em si o papel relativo à solicitação.

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.

Como observado na revisão apresentada no Capítulo 3, e para o objetivo de categorização prevista na taxonomia, as 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 mediante desafios naturalmente abordados. Logo, os recursos energéticos, por sua vez refere-se aos grupos: da capacidade de coleta do dispositivo; da capacidade de armazenamento dessa energia previamente coletada. Descritos conforme abordado no portfólio de estudos criado para o estudo.

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 é propriamente 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 (KANSAL et al., 2007).

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

4.5.1 Capacidade de Coleta

De acordo com Sudevalayam e 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, em ciclos, 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 duas propostas recorrentes, e representam características dos dispositivos oportunas para auxiliar no processo de adequação do seu gasto energético, são elas:

- Coleta e Usa (*Harvest-Use*): Neste modelo, toda energia coletada é oferecida diretamente ao dispositivo. Conforme Merrett e Al-Hashimi (2017), um dispositivo com capacidade de coleta energética pode ser concebido de tal forma que não necessite de um armazenamento energético para suplementar operações, desde que seu funcionamento esteja orientado para abordagem 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 apresentada em modo de operação intermitente (*Intermittent Computing Systems*), onde dentre outras estratégias, permitem o dispositivo deve armazenar incrementalmente seu último 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*): Além da coleta, busca capacitar os dispositivos de modo a armazenar a energia coletada em um componente de armazenamento, permitindo que ela seja utilizada suplementarmente nos ciclos do dispositivo caso necessário ou como fonte principal. Esse modelo visa reduzir problemas decorrentes da variação no fornecimento de energia, seja devido à escassez momentânea de energia disponível, a variação constante dos valores coletados ou à depreciação na performance do sistema 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 se pretende coletar. Em geral, (SHAIKH; ZEADALLY, 2016) apresenta uma divisão das características das fontes energéticas, sendo sua natureza um fator primordial para que o dispositivo possa adequar seu funcionamento ao contexto encontrado. Esse aspecto pode orientar a decisão sobre permanecer ou alternar estados de funcionamento. Assim, para descrever as características dos tipos de fontes energéticas, é possível utilizar a classificação a seguir:

- 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 energética 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 nas soluções encontradas. Seu objetivo é utilizar esse valor armazenado como suplemento energético em momento apropriado.

É bem conhecido que fatores energéticos representam desafios para dispositivos com restrições energéticas (KANSAL et al., 2007)), primariamente caso o recurso energético seja esgotado não será capaz de cumprir seu papel, sob a condição do aguardo do restabelecimento deste recurso ou de algum mecanismo de armazenamento presente seja capaz de atender parcial ou totalmente a diferença energética necessária para as operações. Baterias, super capacitores ou modelos híbridos atuam como componente de armazenamento 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*) de disponibilidade 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*

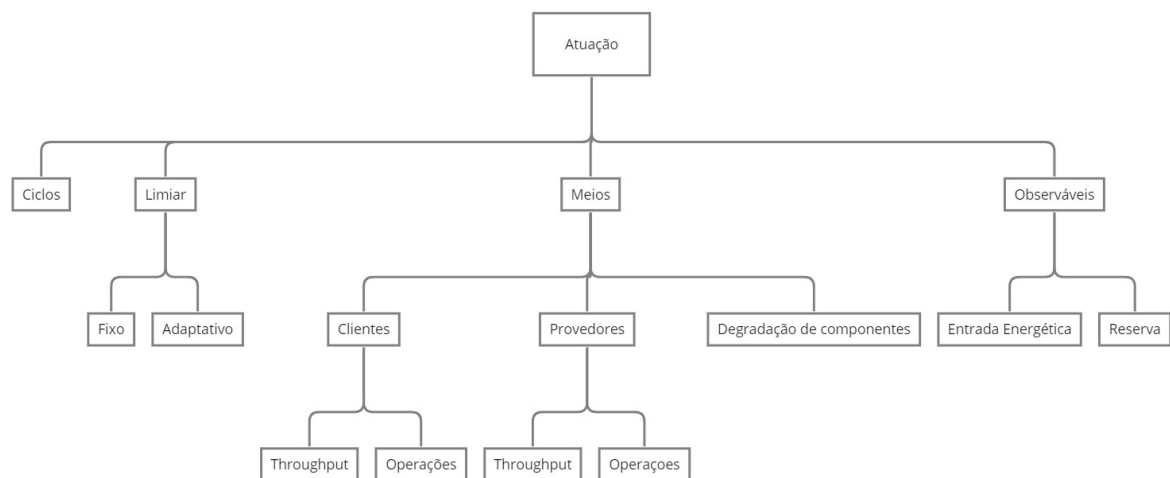
O padrão *Throttling* consiste basicamente em ações que buscam restringir o uso de recursos de acordo com limiares de utilização estabelecidos. Seu objetivo primário é proteger um dispositivo contra um estado de sobrecarga de atividades, evitando que consumidores excessivamente solicitantes coloquem um dispositivo em estado crítico, e assim evitando possíveis falhas ou a exaustão prematura de recursos (EKUAN, 2019). Com isso, os dispositivos IoT com restrições energéticas implementam tal mecanismo com a intenção de manter-se operando dentro de termos definidos por um acordo de funcionamento, evitando que se encontre em situação onde precise atender mais solicitações do que o adequado para sua capacidade seja computacional e mais especificamente energética.

Na taxonomia, o *Throttling* é sugerido como colaborador recorrentemente presente nas atividades que buscam aumentar disponibilidade dos dispositivos, conservando recursos energéticos em observação das características ou limitações do próprio dispositivo. Para tal, é da natureza do mecanismo a necessidade da definição de limiares estritamente adequados,

seja sobre sua capacidade de atender solicitações, recursos coletados, disponíveis ou mesmo previstos pelo dispositivo. Definir limiares 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), pois entrega capacidade de decisão sobre as atividades realizadas nos ciclos enquanto objetiva permanecer energeticamente viável.

4.6.1 Atuação

Figura 10 – Throttling:Atuação.



Fonte: elaborado pelo autor.

Dispositivos **IoT** presentes na computação dirigida à energia, a atuação do mecanismo *throttling* é dada ao sugerir como o dispositivo irá se comportar durante uma janela temporal de operações denominada Ciclo e esta disposto como categoria mais à esquerda no recorte disponível na Figura 10. Os ciclos são divisões fundamentais, sua definição foi dada por Kansal et al. (2007) e relata sobre os eventos desencadeados durante a operação do dispositivo. Durante um ciclo, clientes e provedores realizam suas atividades, solicitando e disponibilizando seus estados. Do ponto de vista da disponibilização dos recursos, durante um ciclo, um dispositivo provedor configurado para tal, pode assumir abordagem de equidade entre os solicitantes ou outro critério de prioridade e privilégio, por exemplo as características ligadas aos fatores de transmissão como encontrado em Abrardo, Balucanti e Mecocci (2013). Em virtude disso, caso seja necessário, um solicitante qualquer teria suas solicitações atendidas enquanto ocorre a negação do serviço para outro cliente com menor prioridade. Essa prática é comum em sistemas que implementam políticas de priorização, garantindo que solicitações de dispositivos com maior importância sejam atendidas antes das de menor prioridade - ou até de si próprio. Isso permite uma gestão mais eficiente dos recursos e uma melhor adaptação às demandas variáveis do ambiente.

O *Throttling* utiliza mecanismos limitadores, atua baseado em limiares, através da restrição no atendimento de solicitações. Uma vez definido atuação, a ação do limitador poderá 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 da realização das operações esperadas para o dispositivo e possui influencia sobre como o dispositivo irá se comportar. Quanto aos limiares, são classificados como:

O *throttling* utiliza mecanismos limitadores que atuam com base em limiares restringindo o atendimento de solicitações. Este limiar é uma indicação de que alguma ação deverá ser tomada a partir daquele instante. Uma vez definida, o valor de limiar pode ser constante ao longo de todo o funcionamento do dispositivo. Outra possibilidade é a definição de vários limiares que atuam de forma adaptativa de acordo com os modos de operação mapeados em um acordo de qualidade de serviço (*Quality of Service (QoS)*) presente nos termos de funcionamento daquele dispositivo. Assim que determinado limiar é alcançado, o dispositivo pode ajustar sua atuação de acordo com o objetivo proposto. O comportamento do limiar de atuação é cuidadosamente analisado e observa sobre as capacidades energéticas dos dispositivos com base na natureza das operações esperadas para o dispositivo *IoT* influenciando diretamente em seu comportamento. Quanto a dinâmica dos limiares, eles podem ser 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, observação sobre o ambiente ou recursos presentes 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.

Este modelo, é bastante útil caso se conheça bem as capacidades do dispositivo e não se espera variação nas condições de operação ao longo do tempo, cenário pouco provável no contexto dos estudos abordados. Embora oferte equidade do ponto de vista das solicitações, que são atendidas segundo os mesmos critérios quando em observância do estado do dispositivo *IoT*, 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 ou mesmo pela capacidade de comunicar-se e prever demandas ou capacidade energética futuras.. 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.

Finalmente, o dispositivo IoT com limiares estipulados permite que o mecanismo *throttling* possa colaborar com a definição e garantias do modo de operação adequado para o momento, seja para interromper o atendimento das solicitações conforme Figura 3, reduzir sua taxa da transmissão, ou até mesmo encurtar ou diminuir a ocorrência de ciclos. Com isso, aumenta-se seu tempo de inatividade aliviando o custo energético de suas operações enquanto se encontra em um modo restrito.

Uma vez que os recursos energéticos observáveis sejam restabelecidos, pode-se assumir um comportamento de uso acentuado caso necessário e a capacidade do dispositivo permita utilizar mais recursos disponíveis, incentivados pelo novo valor de recurso permitindo alívio no limiar de consumo. Esta capacidade de adaptação, permite que dispositivos IoT em cenários de restrições energéticas mantenham algum equilíbrio enquanto conservam recursos e buscam performance, sustentado pela adaptação promovida pelos modos de operação definidos previamente, garantindo assim suas disponibilidade nos termos de condições energéticas e operacionais.

Qualquer aspecto que impacte ou influencie na capacidade do dispositivo em manter-se disponível deve ser considerado em sua atuação. Estes elementos estão categorizados na classe Observáveis presente na Figura 10, compreendem os componentes aos quais os trabalhos concentraram seus esforços para definir o comportamento do agente limitador *Throttling*, pois justificam a ação do mecanismo que deverá assegurar o comportamento adequado para o dispositivo IoT, evitando seu esgotamento energético. Para tal, apresentam como os garantidores das condições energéticas do dispositivo, através do processo de: análise da sua condição de entrada energética ou coleta de energia e a capacidade de

armazenamento dessa energia coletada em eventual *buffer* intermediário.

O comportamento de um dispositivo pode ser ajustado de acordo com suas circunstâncias. Diferentes meios são usados no processo de aplicação do mecanismo *throttling* enquanto 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:

O comportamento de um dispositivo pode ser ajustado de acordo com suas circunstâncias, e diferentes meios representam o processo de atuação do mecanismo de *throttling* para adequar o comportamento às características de atuação e às intenções de limitação de operações. Nesse sentido, é importante observar o papel a ser desempenhado pelo dispositivo, pois cada um apresenta particularidades que indicam como o limitador se expressará. Sendo assim, os meios utilizados pelo agente limitador incluem os contextos:

- 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 atuação do mecanismo *throttling* operando em referencia das capacidade dos dispositivos enquanto 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 se expresse atuando sobre a capacidade de recebimento das mensagens em acordo com a capacidade operacional e energética do cliente. Sendo assim, o dispositivo cliente poderá limitar o envio de novas solicitações ou a sua disponibilidade para recebimento de novos eventos de acordo com o modo de operação que se encontra em decorrência das capacidades observadas que o conduzem para tal modo.

Entende-se por criticidade para um dispositivo **IoT** o atributo que indica a importância das operações realizadas por este dispositivo, considerando as consequências atribuídas pela não realização de uma operação considerada critica para o cenário de atuação do dispositivo. Assim, são previstos dois cenários: um primeiro onde não se aplica priorização das operações e, portanto, todas tem igual importância, e um segundo, onde existem operações classificadas como críticas. Nesse segundo cenário, justifica-se o fato de tais operações poderem encontrar o dispositivo com um limiar de *throttling* aliviado, possibilitando assim a realização da operação dita crítica. Certamente, é importante observar e definir como ocorre a categorização dessas operações para que, caso ocorram em modo privilegiado, exista também a justificativa de uma maior tolerância quanto ao uso de recursos energéticos para o cumprimento destas.

Finalmente, para que seja possível um maior gasto de recursos pelas operações críticas, cabe também à fase de concepção dos termos de funcionamento do dispositivo IoT definir suas regras de compensação onde caso necessário, o dispositivo com restrições energéticas possa limitar outras operações, motivados a preservar parte do seus recursos que em outro momento poderia ser utilizado por estas demandas menos privilegiadas.

Meio 2 compreende o controle de atuação no dispositivo enquanto provedor. De acordo com o seu estado, o mecanismo de *throttling* pode atuar em conformidade aos recursos observados. Para tal, as estratégias de aplicação e definição de limiares partem da análise da capacidade de vazão para as múltiplas solicitações dos clientes, assim como da criticidade das operações realizadas.

A taxa de vazão (*throughput*) do um dispositivo provedor, é definida pela sua capacidade em atender demandas dos diversos solicitantes durante um ciclo, sobre seus aspectos de transmissão, capacidade computacional ou no cenário de restrição energética, seu modo de operação estipulados na análise sobre os recursos observáveis. O *throttling* manifesta-se durante os ciclos reduzindo tal capacidade ou tolerando aumento mediante novo estado energético encontrado.

Ainda sobre o papel provedor, cabe o análise de atuação do mecanismo limitador sobre as operações realizadas. O dispositivo Um sistema hierárquico pode estar presente no contexto do dispositivo IoT com restrições energéticas, onde algumas solicitações são privilegiadas pois devem ocorrer em aproveitamento de cenário energético ou momento propício .

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, sendo considerado gasto excessivo. O Limiar de atuação deve ser revisto idealmente para atuar sempre a todo momento que o panorama encontrado pelo dispositivo mude, seja pelo fim de um ciclo ou a medida que solicitantes estão sendo atendidos. Com isso, dado limitador deverá revelar-se protegendo o dispositivo IoT no decorrer de suas mudanças de estado ao passo que busca realizar suas operações.

Pode-se ainda anexar ao conjunto relacionado aos fatores de limitação, a possibilidade de atuar ativamente ao passo da realização de alguma atividade específica, desativar outras capacidades desnecessárias no momento, seja componentes secundários ou demais como descritos em (SHEN et al., 2019). Assim, 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.

Assim, compreende os meios de expressão do mecanismo limitador no Meio 3, atuação enquanto reduz o consumo energético de componentes menos necessários no contexto de escassez energética. Esta manifestação do *throttling* objetiva a conservação de seus recursos energéticos durante ciclos, especialmente quando não existe uma previsibilidade de uma nova oferta energética ou não há motivo aparente para manter o componente consumindo recursos. Por exemplo, os aparelhos móveis podem revelar seu mecanismo de limitação, quando um determinado valor energético em *Storage* é atingido, e esse fator observado limitar ativamente os componentes, por exemplo câmeras de alta definição em detrimento de sua qualidade ou o volume dos alto-falantes, luminosidade da tela, entre outros. Assim, o recurso energético usado por tais componentes podem ser conservados ou 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, em sua maioria, adota-se a duração de um ciclo com um intervalo fixo de tempo, normalmente caracterizando seu início por uma entrada energética coletada que por sua vez durará até a próxima oferta energética, todavia a depender do cenário, ciclos podem ser definidos por um tempo fixado passível de acontecer eventos de entrada energéticas ou não.

Sobre a capacidade de armazenar energia, como descrito na Subseção 4.5.2 é o indicativo do potencial energético máximo seu componente de armazenamento energético pode armazenar e fornecer. É preciso destacar que, alguns trabalhos abordam a capacidade dos dispositivos compartilharem seus recursos energéticos coletados, mediante estratégia definida ou necessidade da malha de dispositivos que o mesmo faz parte. A capacidade do dispositivo em entender a dinâmica dos fatores que interagem com os valores coletados na forma de entrada energética através do seu armazenamento energético e o sistema de coleta são fundamentais para garantir maior disponibilidade. Estes fatores compreende os observáveis que além de atuarem para definição das atividades do *throttling*, parte dessa observação os pontos que justificam o processo de limitar ou tolerar um comportamento do dispositivo IoT.

4.6.2 Motivadores

Além das operações realizadas, a implementação do padrão de throttling passa pela avaliação de como os papéis desempenhados pelos agentes impactam o comportamento do dispositivo. Dessa forma, sua atuação é motivada pela necessidade de ajustar o comportamento divergente para um modo adequado às condições estabelecidas, assim que os fatores observados atingem os valores limiares. Considerando as características e a dinâmica de um ambiente, especialmente os desafios enfrentados pelos dispositivos IoT em

cenários de restrição energética, justifica-se a demanda para que o agente limitador atue suficientemente rápido, a fim de que o processo de mudança de adequação para um modo adequado seja alcançado o mais brevemente possível.

Assim, 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. A classe Motivação, indica qual a relação entre o mecanismo limitador e seus observáveis enquanto expressa-se. Portanto, a motivação dos dispositivos em limitar seus ciclos passa pela análise do estado dos recursos observáveis e a intenção que se deseja alcançar para tais observáveis. Em Gong et al. (2022), o autor aborda a capacidade dos dispositivos para hibernar, realizar operações ou transmitir seus resultados mediante observáveis definidos. Estas operações são realizadas motivadas pela necessidade de manter os recursos energéticos de maneira eficiente enquanto o dispositivo opte por permanecer ativo quando sensoreando ou transmitindo dados ou hibernando.

Finalmente, para justificar a atuação dos mecanismos de limitação, é preciso definir quais são seus motivadores, estes carregam o propósito declarado para restringir o dispositivo em concordância com a causa motivadora, seus fatores observáveis. Assim, é de interesse do dispositivo restrito energeticamente a observação das suas capacidades energéticas para assim, utilizar *throttling* motivado à:

1. Preservar recursos energéticos. Evitar gasto excessivo ou inadequado é primeiro motivador de um agente limitante embarcado em dispositivos com restrições energéticas, todos os estudos abordados em portfólio apresentam essa intenção primária para conceber a atuação do *Throttling*. Pretende-se com isso manter o dispositivo operando adequadamente em relação das capacidades observadas e com isso dispendendo recursos de maneira sustentada ao passo que a energia coletada durante os ciclos 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. Esta motivação é principalmente abordada nas soluções que utilizam métodos probabilísticos, ou técnicas de aprendizado de máquina para antecipar cenários energéticos futuros.

5 Atividades

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 Preliminar

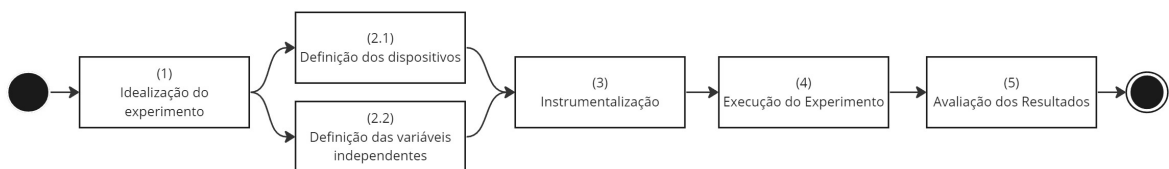
Este capítulo consiste em apresentar o estudo experimental realizado, refere-se ao processo de validação preliminarmente da taxonomia proposta e envolve a concepção do contexto de experimentação, das configurações e características dos elementos envolvidos, a seleção das variáveis influenciadoras, o controle e instrumentalização do experimento, sua execução e captura de dados durante experimentação, e por fim, a análise e indícios encontrados obtidos a partir desses resultados.

O objetivo do experimento é analisar por meio de demonstração da taxonomia proposta, a atuação de mecanismos *throttling*, como candidato atuante no incremento da disponibilidade dos elementos presentes em *IoT* através da adaptação de comportamento por ação de limiares que considerem seus aspectos energéticos para assim, prolongar a autonomia energética dos dispositivos. A abordagem é aderente e cobre os elementos presentes na taxonomia definida 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 os indícios de incremento na 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 do comportamento dos dispositivos participantes em resposta aos valores referentes à energia coletada e, conseqüentemente, à sua reserva energética. Além disso, pretende-se compreender o processo realizado para tomada de decisão sobre atender ou não às solicitações, baseando-se na análise das capacidades do dispositivo à medida que varia a oferta energética disponível. Este estudo visa categorizar os agentes envolvidos no processo de implementação do

throttling como solução para estender a disponibilidade dos dispositivos em relação aos fatores energéticos, focando na 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 estudo para viabilizar a análise e comparação de dispositivos com diferentes instâncias do *throttling* buscando à cobertura das categorias taxonômicas definidoras. 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 concebido e 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, garante equidade de condições semelhante à dispositivos IoT encontrados em um ambiente. Sendo assim, a definição dos dispositivos e variáveis (Etapa 2) do experimento considera: I - Os dispositivos foram instanciados apenas sob o ponto de vista das classes taxonomicas definidas; II - Dispositivos simulados com capacidade de coleta e armazenamento de energia estão inseridos em um dado ambiente similar ao uso real; III - Os dispositivos recebem, ao mesmo tempo, um valor como coleta de energia; IV - Os dispositivos participantes possuem a mesma capacidade para armazenar energia coletada em *storage*; V - 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 abordadas. Em decorrência disso, habilita-se o experimento para realizar múltiplas execuções conforme protocolo estabelecido, aplicando os estímulos observáveis, necessários em conformidade com a análise das soluções encontradas no portfólio para o estudo. Uma vez definidos, carga de solicitações em ciclos e disponibilização de recursos energéticos, coleta-se os resultados obtidos para análise.

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 é fundamentada em observar como o mecanismo *throttling* implementado no dispositivo

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

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, esta avaliação pretende observar a completude da cobertura obtida pelas classes taxonômicas enquanto necessárias para caracterizar o uso do *throttling* em dispositivos IoT para computação dirigida à energia. Por isso, encerrando a execução do experimento, as variáveis dependentes resultantes são coletadas para avaliação e evidenciam: como o limitador impacta em performance na relação a quantidade total de solicitações atendidas em igualdade de ciclos entre diferentes dispositivos e das condições de indisponibilidade para realizar operações mediante esgotamento dos recursos em *storage*. Ao aprofundar a análise, é preciso ainda, contrapor os dados temporais de oferta energética em relação a quantidade presente no dispositivo, observando indícios da 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 IoT em computação dirigida à energia, presentes em dado ambiente, estes limitam-se as categorias da taxonomia definidas. Aqui, fundamentalmente, as classes Agente, Operações e Recursos Energéticos estão em evidência. Os dispositivos enquanto agentes 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 observado em seu armazenamento (*storage*), decidir se é capaz ou não de realizar a operação solicitada.

Para sua concepção é preciso definir temas travessais às categorias, se colocando termos auxiliares que colaboram para o processo experimental. Assim descreve-se C_a como o valor de consumo do 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.

Sobre o tempo a duração de um ciclo $T(c)$, os trabalhos abordados atribuem seu valor através da soma da duração do tempo dentro do ciclo 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 $t_a = T$, $t_i = 0$, $t_h = 0$:

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

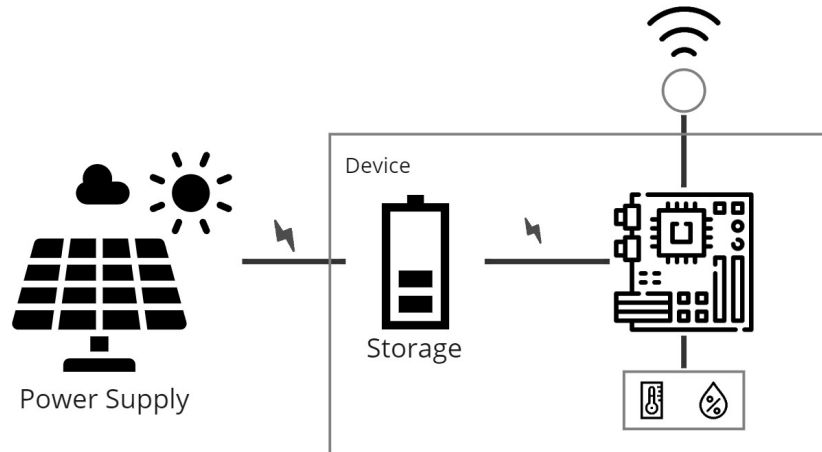
De outra forma, caso permaneça hibernando durante todo o ciclo $t_h = T$, teremos seu consumo total:

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

Portanto, um dispositivo com ação do mecanismo *throttling* deverá ter seu comportamento adequado ao modo de atuação esperado, estimado em [SLA](#), através da recusa de solicitações durante os ciclos, proporcionando a variação entre t_a , t_i e t_h buscando cooperar com o motivo de atuação ou seja, para consumir seus recursos eficientemente, assim conduz o dispositivo ao cenário onde o tempo de atividade é cada vez menor ao tempo total do ciclo $t_a < T$ enquanto, 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 base na taxonomia proposta no Capítulo 4, reduziu-se o dispositivo aos aspectos de armazenamento (*storage*), sua entrada energética simulando um valor coletado através de um *power supply*, sendo os demais componentes travessais 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 de acordo com um QoS presente em seu acordo de nível de serviço, o qual faz referência aos valores de recursos energéticos que possui. No experimento estão cobertos quatro modos de atuação a depender das capacidades energéticas:

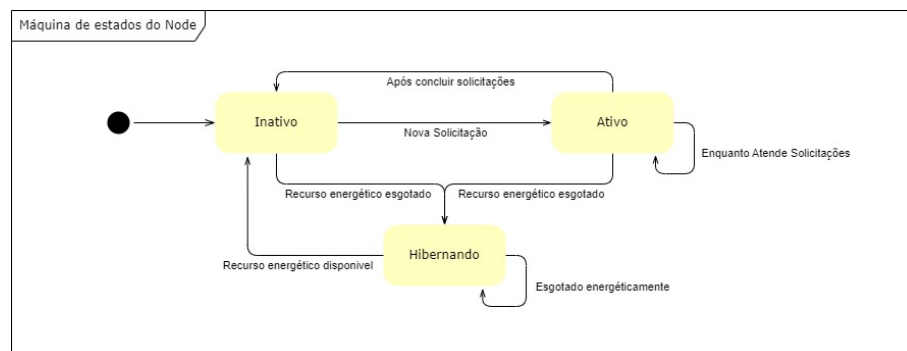
1. Modo Abundante: representa o dispositivo que possui recursos energéticos amplamente disponíveis, permitindo o funcionamento completo e otimizado de todas as suas funcionalidades. Aqui, atenderá quaisquer solicitação enviada, sem atuação do mecanismo limitante, aproveitando ao máximo a disponibilidade 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 solicitações. O dispositivo entrará em um estado de hibernação ou equivalente até que recursos energéticos sejam recuperados. As ações que ocorrem nesse modo, são consideradas críticas para manutenção do estado do dispositivo, caso hiberne. Além disso, pode representar um dispositivo esgotado energeticamente, nesse caso, o dispositivo não realizará nenhuma operação.

Um modo de operação guiará como o mecanismo de *throttling* interpreta os observáveis, no experimento, tem atenção sobre o valor disposto em sua reserva energética, assim poderá 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, uma definição sobre os modos de operação deve 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 reduzindo as capacidades do dispositivo sobre quantidade de solicitações atendidas nos ciclos, proporcionando momento em estado de inatividade forçada contribuindo para restabelecimento ou conservação dos recursos. 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 também deixa explícita presença de mecanismo limitante mediante limiares definidos em cada modo, contribuindo para que o dispositivo permaneça em um estado de inatividade à depender das condições observadas com a motivação de preservar ou restabelecer sua condição. Sendo assim, uma vez identificado em um modo de operação, o dispositivo terá uma quantidade potencial para atendimento das operações durante os ciclos 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 da experimentação, os estados possíveis para o dispositivo foram descritos como:

- 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.

- 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. Alguns estudos apontam que o estado inativo pode ser suprimido, restando apenas os estados Ativos e Hibernando (*Sleep, Wake*) como os utilizados em (Gong et al. (2022); Luo et al. (2017)), em todo caso o estado inativo pode ser contemplado a depender da aplicação e necessidades apresentadas aos dispositivos IoT.

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. Esta característica é fundamental para os dispositivos em computação dirigida à energia. Em todo caso, para o experimento, não há, a princípio, a intenção de analisar as particularidades do processo de obtenção de recursos 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. Pois com isso, busca-se conduzir o experimento aos critérios utilizados nas abordagens estudadas e por sua vez, categorizados taxonomicamente em respeito à capacidade de coleta do dispositivo, assim 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 $i = 1, 2, \dots, 12$), uma execução realizada integralmente durará 12 jornadas. Para viabilizar o experimento, os valores originários foram tratados como parâmetro de quantidade apenas, desprezando sua grandeza. Assim, Conforme Tabela 3, cada valor representa o montante energético disponibilizado em uma respectiva jornada distribuídos em ciclos.

O fator de distribuição atribuído a cada ciclo c_i (para $i = 0, 1, 2, \dots, 23$) representa a medida da oferta em dado instante i e tem referencia 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 especifica é justificada pela intenção de conceber os valores capazes de cobrir o objetivo do experimento enquanto observados do ponto de vista dos dispositivos IoT em computação dirigida à energia, mesmo

Tabela 3 – Valores ofertados por ciclo

Jornada (J)	Disponibilizado no Ciclo (c)												
	c05 (0.007)	c06 (0.02)	c07 (0.053)	c08 (0.087)	c09 (0.105)	c10 (0.127)	c11 (0.136)	c12 (0.125)	c13 (0.12)	c14 (0.101)	c15 (0.074)	c16 (0.04)	c17 (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)

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 aplicação do 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 zero, representam os 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* ocorre 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 analise dos resultados obtidos.

Com a definição de comportamento dos ciclos em função das jornadas, determina-se com isso o processo realizado para cobrir uma dinâmica de oferta energética necessária para análise do comportamento dos dispositivos. Através disso, é possível abstrair qualquer tipo de fonte originária desde que seja possível estimar e representar seu comportamento ao longo de ciclos.

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 consumo 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 demandas, aproximadamente ao mesmo tempo.

Na ação de atender uma solicitação, o dispositivo provedor é conduzido para iniciar ou permanecer em estado ativo, este estado por sua vez intensifica a utilização de recursos quando comparado com estado inativo ou enquanto hiberna, já mencionado na Seção 6.2. Para dinâmica do experimento, 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 transferência 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.

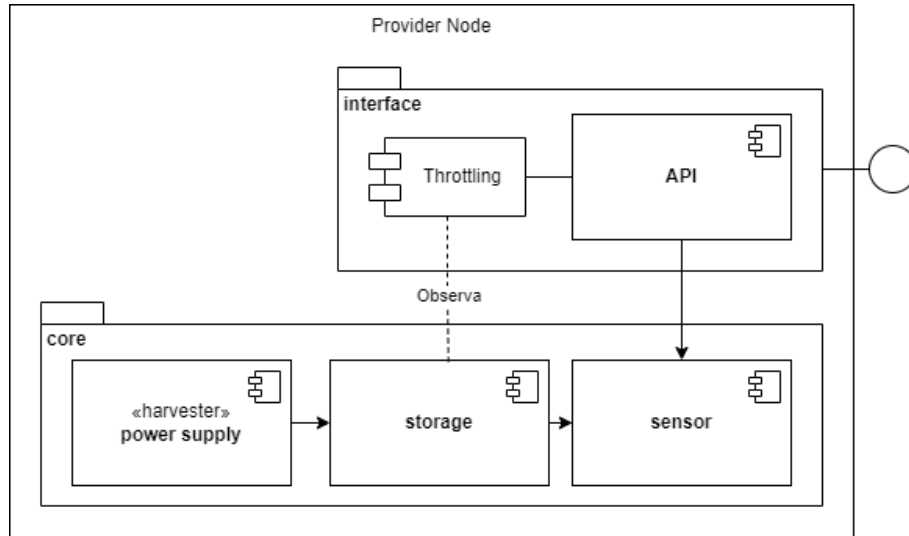
Finalmente, esta variável independente, as solicitações realizadas, carrega o totais de requisições e em decorrência dela, observa-se os resultados obtidos para quantidade total de solicitações realizadas que foram atendidas ou que encontraram o dispositivo indisponível, caracterizando o consumo energético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

6.4 Definição dos Dispositivos

Foi construído um modelo minimamente capaz de representar um dispositivo IoT com as características de restrição energética e embarcado com mecanismo de *throttling*. Este será um agente capaz de 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 que foi concebido para o dispositivo provedor e seus 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.

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

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*, representa a capacidade de coleta energética dos dispositivos, é caracterizado pela ação de fornecer os valores necessários para suas operações. No experimento, simula as características básicas de coleta de energia no decorrer de ciclos conforme 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 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 aos motivos que impõe a necessidade de um componente intermediário de armazenamento energético. Em função disso, os modos de operação podem ser estabelecidos pela distribuição proporcional à sua capacidade máxima.

Para o experimento foi definido que os modos de operação utilizados deveriam incidir apenas sobre o valor de recurso disponível no *storage* do dispositivo, suficiente para expressão dos elementos taxonômicos. Foram obtidos pela proporcionalização da

capacidade total de armazenamento presente no *storage*. Sendo assim, a Tabela 4 apresenta os modos de operação para os dispositivos em relação a seu observável.

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*, apesar de não estar presente diretamente na taxonomia, este componente é a representação das capacidades de atuação do dispositivo *IoT*. Cabe a este componente realizar as operações necessárias conforme solicitado. 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 e tem 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

As ações executados para instrumentalização 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.

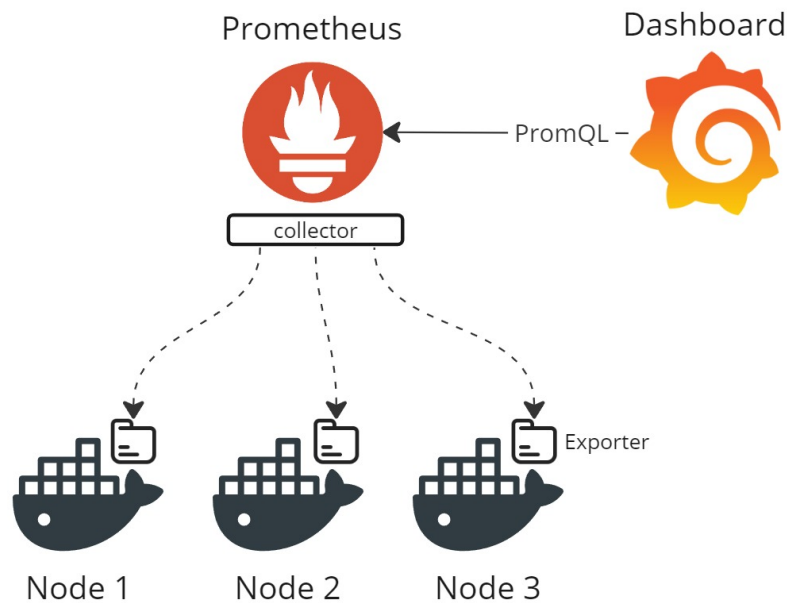
Para isso, o processo de coleta dos dados deve acontecer em intervalos regulares definidos previamente à execução do experimento, assim, todos os dados gerados são coletados simultaneamente em todos dispositivos dentro dos intervalos estipulados. Cabe também a necessidade de armazenamento desses dados 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/>>.

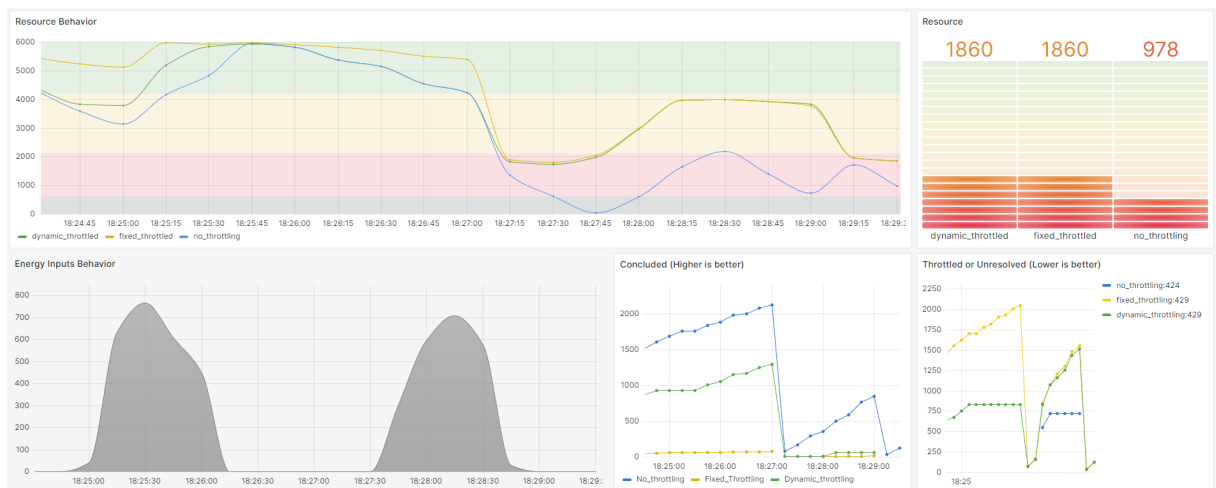
Figura 15 – Coleta e visualização da Execução do Experimento.



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 para os dispositivos experimentados.

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 limitador presente em 'dynamic-throttling' atuar adaptativamente, assim como no anterior regulando a taxa de vazão de atendimento porém para este cabe observar as condições de sua reserva em *storage*. Comportamento recorrente aos trabalhos relacionados ao contexto de atuação dos dispositivos. Sendo assim, a relação entre os modos de operação e como será 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, dado um ciclo qualquer, o dispositivo que permanecer ativo durante todo tempo despenderá sua reserva de maneira acentuada quando comparado a outro dispositivo que optou permanecer parcialmente inativo no contexto do ciclo em questão. Toda requisição realizada enquanto um dispositivo esteja em estado Hibernando, ou seja, sem reserva suficiente para manter-se operacional, será considerada não atendida em razão da indisponibilidade do dispositivo e quando sua reserva estiver completamente esgotada o dispositivo será considerado esgotado energeticamente.

6.7 Avaliação dos Resultados

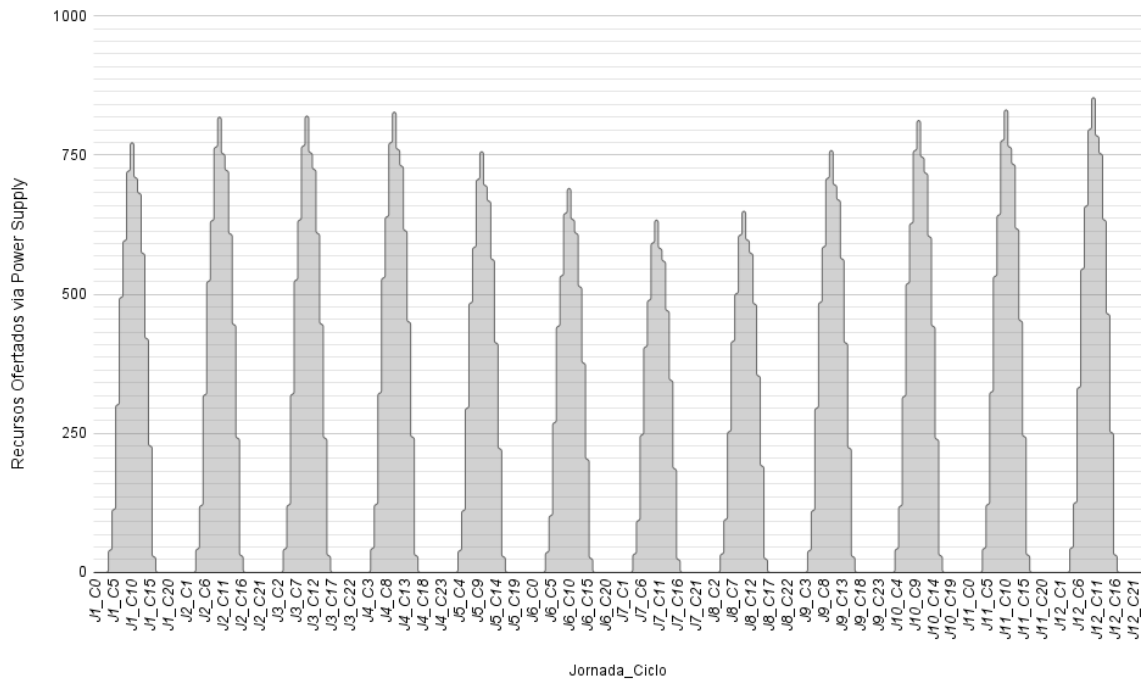
Durante a avaliação dos resultados, examina-se em detalhes os valores obtidos a partir das execuções do experimento com o objetivo de validar o comportamento dos dispositivos a medida que refletem a completude dos elementos presentes na taxinomia

enquanto demonstra suficiência dos termos definidos nas classes para representar os dispositivos **IoT** em computação dirigida à energia em função das ações do mecanismo de *throttling*. Parte da avaliação se concentra também 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 das características do ambiente onde o dispositivo esta inserido, do ponto de vista da distribuição dos valores ofertados. Estes, quantificaram a primeira variável independente e são utilizados para expressar as capacidades de coleta da abstração do sistema de coleta (*power supply*) em um intervalo de 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 – Característica do ambiente de simulação e valores coletados.



Fonte: elaborado pelo autor.

Diante da 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 eventos externos no contexto de uma ou outra execução. Representa um ambiente e suas características em termos de previsibilidade energética e capacidade de controle (SUDEVALAYAM; KULKARNI, 2011), além disso, é

garantido ao dispositivo receber este valor mesmo que esteja momentaneamente esgotado, pois não foram encontrados indícios suficientes à restrições do evento de oferta energética no contexto de computação dirigida à energia.

A segunda variável independente utilizada, representa as solicitações disparadas contra a interface do dispositivo provedor. Este estímulo caracteriza-se pela classe Operações e representam os movimentos de mensagens para consumo e demanda submetida ao dispositivo. Portanto, ao atender-las, o provedor deverá intensificar 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, podendo resultar em 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 descrito na Seção 6.6.

Tabela 7 – Solicitações realizadas

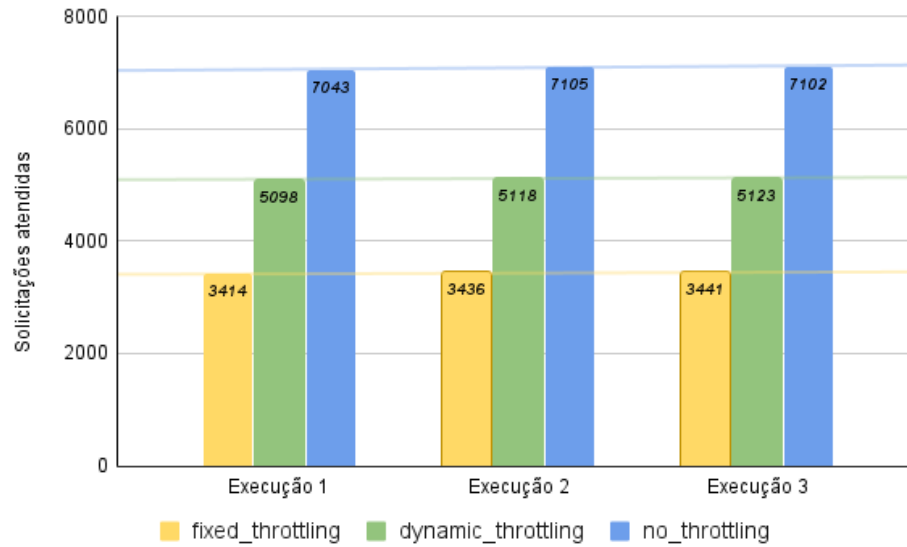
	Duração	Solicitações (<i>sol</i>)		
		Execução 1	Execução 2	Execução 3
1 ciclo	6 <i>seg</i>	29,875	29,86	29,88
1 Jornada (24 ciclos)	144 <i>seg</i>	717	716,75	717,16
12 Jornadas	1728 <i>seg</i>	8604	8601	8606

Fonte: elaborado pelo autor.

Ao finalizar uma execução, as variáveis dependentes obtidas são colhidas para avaliação: a quantidade total de solicitações atendidas, que expressam a atuação do mecanismo de *throttling*; a quantidade de solicitações impedidas mediante indisponibilidade do dispositivo por esgotamento energético, que motivam ao pensamento crítico de como o agente limitante poderia ter se atuado ou não. 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 obtendo visão completa do comportamento do dispositivo IoT enquanto atuação de limitadores.

Ainda sobre os dados coletados, ao final de cada execução é obtido o total de requisições atendidas evidenciando como as características da ação dos agentes limitantes apenas sobre a performance dos dispositivos. Na Figura 18, é possível comparar o desempenho de dispositivos sob a ponto de vista das solicitações atendidas. Toda via, é preciso análise cuidadosa sob o ponto de vista da performance, seu objetivo não é apresentar qual comportamento foi mais eficiente mas trazer a superfície o impacto das características delegadas a cada dispositivo enquanto instancias da taxonomia proposta.

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 os valores obtidos em um quadro geral, mais uma vez, seus resultados evidenciam as características do agente limitante, reduzindo a capacidade de atendimento em função da proteção contra o esgotamento energético, representado na tabela pelo valor de indisponibilidade.

Tabela 8 – Quadro das solicitações realizadas aos dispositivos

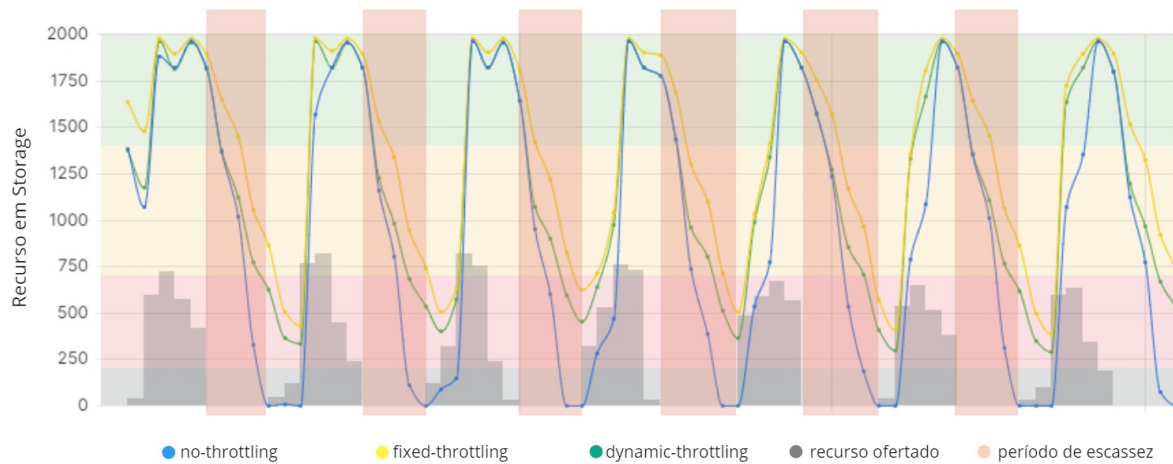
Execução	Dispositivo	Solicitações			
		realizadas	atendidas	indisponíveis	% indisponíveis
1	no-throttling	8604	7043	1561	0.1814
	fixed-throttling	8604	3414	0	-
	dynamic-throttling	8604	5098	0	-
2	no-throttling	8601	7105	1496	0.1739
	fixed-throttling	8601	3436	0	-
	dynamic-throttling	8601	5118	0	-
3	no-throttling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

do dispositivo especialmente nas áreas em destaques que apresentaram oferta mínima ou inexistente de recurso disponibilizado.

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



Fonte: elaborado pelo autor.

Finalmente, a análise realizada sobre a Figura 19 permite a visualização do recorte ampliado de sete jornadas, representa o claro comportamento dos dispositivos enquanto a atuação é restrita ou não em cada modo de operação referente a sua condição apresentada em *storage* e os limiares definidos na Tabela 4, este processo é notável através da clara amortização intensificada na tendencia das linhas de consumo enquanto o valor de recurso encontra-se dentro de cada modo, representado nas faixas horizontais destacadas na relação de cores.

6.7.2 Interpretação dos Resultados

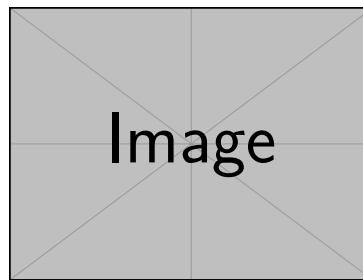
Com as execuções realizadas, é possível conceber a completude da categorização taxonômica e sua organização. Ao instanciar os dispositivos do ponto de vista de suas classes, é possível observar como se comportam em virtude das características dos fatores energéticos aos quais estão expostos, conforme categorização observada na revisão apresentada no Capítulo 3. Através dessas execuções, podemos analisar de que forma a energia ofertada durante o experimento impactou no desempenho dos dispositivos permitindo uma compreensão profunda dos seus comportamentos e limitações em ambientes, em especial com características preditivas e pouco controladas.

Ao categorizar um dispositivo IoT em computação dirigida à energia, é preciso fazer menção sobre o papel que este irá desempenhar. Para isso, o experimento atuou gerando um mesmo cenário para que os diferentes agentes examinados pudessem cumprir o papel de provedor de informações de sensores. Assim, os resultados obtidos, descrevem a importância dos elementos categorizados em função das características encontradas nos

trabalhos relacionados à dispositivos para computação dirigida à energia. Na medida que observam-se o comportamento simulado dos fatores energéticos e os impactos observados 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. Portanto, mesmo em cenário de dispositivos com capacidade de armazenamento energético, se faz necessária a aplicação de políticas de limitação de uso em ciclos, em acordo com SLA estabelecido indicando os termos de atuação para os quais os dispositivos IoT deveram atender.

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



Fonte: elaborado pelo autor.

Posteriormente, ao instanciar os dois dispositivos com diferentes limitadores, com o pretexto de validar a aderência dos conceitos classificados na taxonomia proposta. Os dados obtidos oriundos da experimentação colaboram com o entendimento dos elementos envolvidos no processo de concepção do que compreende minimamente um dispositivo IoT encontrado em computação dirigida à energia. Sobretudo é percebido também necessidade de implementar os mecanismos de limitação para lidar com os aspectos de disponibilidade.

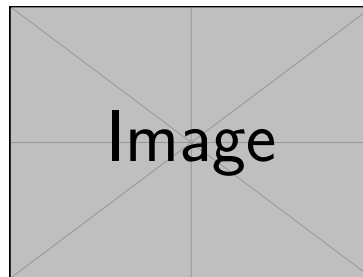
Em relação ao comportamento esperado dos agentes, nota-se que o mecanismo *throttling* exerceu influência ativa contribuindo para adequação de comportamento do dispositivo provedor, sobretudo quando considera a observação dos aspectos dos recursos energéticos envolvidos, necessários para alcançar um grau de disponibilidade estimada presente em um acordo de nível de serviço. Ainda sobre estes termos, confrontam-se o desempenho obtido pelos dispositivos 'fixed-throttling' e 'dynamic-throttling', na Figura 21, correspondendo a necessidade da atuação do mecanismo limitador em função da observação dos termos classificados como Observáveis na taxonomia.

Graças a isso, é possível perceber que o dispositivo 'fixed-throttling' obteve menor

variação de sua reserva energética, 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.

Esta abordagem foi especialmente útil a medida que geram indícios para caráter opcional sobre um termo específico, dado que o dispositivo experimentado com limiar de atuação fixo manteve-se operacional. Todavia, é preciso atenção sobre essa afirmação, pois dada o universo de atuação **IoT** os mecanismos de limitação de operações frequentemente precisam considerar características específicas dos dispositivos na forma de observáveis e do ambiente, sendo em muitos casos, considerado precipitado apenas limitar sua taxa de vazão (*Throughput*) quaisquer que sejam os valores. Para conhecimento, nenhum trabalho citado apresentou solução puramente baseada nos meios de atuação do mecanismo *throttling* pois mesmos os que buscaram previsibilidade de demanda, se utilizam de outros fatores, os observáveis, para justificar seu comportamento.

Figura 21 – Comparação comportamento das estratégias de throttling aplicadas.



Fonte: elaborado pelo autor.

Ainda sobre a discussão a respeito da análise de observáveis, a Figura 21 apresenta, mediante execução dos agentes instanciados, a diferença de comportamento do dispositivo 'dynamic-throttling' em relação à outra implementação com limites fixos, que foi proporcionado pela capacidade incrementada ao *throttling* em observar os fatores de sua reserva energética. Com isso apoiou o dispositivo em função da capacidade de gerenciamento sobre seu comportamento, fundamental para gerar capacidade adaptativa para os ciclos. Assim, 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. Colaborando com o entendimento sobre a necessidade de categorizar os observáveis quando na atuação do mecanismo limitador.

Finalmente, as instancias experimentadas apresentam, evidenciados pelo comportamento nos resultados obtidos, as referências aos atributos listados para o uso de throttling como atuador em busca de atender critérios de disponibilidade, especialmente para os dispositivos **IoT** presentes em computação dirigida à energia. Com isso, gerando indícios da

completude sobre os elementos ligados taxonomicamente aos fundamentos de atuação do *throttling*, mediante análise cuidadosa dos termos de serviço necessários para definir uma configuração de atuação colaborando para o objetivo de manter os dispositivos disponíveis.

6.7.3 Limitações do Estudo

As limitações do experimento preliminar, passa especialmente pela não examinação de alguns cenários. Apesar de considerados na taxonomia, o experimento não explorou as características de transmissão inerentes à dispositivos IoT, presentes em alguns trabalhos visitados (GONG et al., 2022). Outro fator não examinado foi diretamente ligado à capacidade de depreciação prevista por Shen et al. (2019) uma vez que os dispositivos instanciados apresentam apenas um componente do tipo sensor. Alternativamente o comportamento dos estados (Ativo-Inativo-Hibernando) podem ser descritos em função de outros componentes presentes, essenciais como previstos pelo autor. Em todo caso, na análise experimental não foram realizadas menções diretas a capacidade de ajustar o consumo energético dos sensores.

Algumas características da taxonomia não foram cobertas em sua totalidade no experimento, não é possível examinar o ponto de vista do consumo energético dos agentes enquanto clientes por exemplo. Em todo caso, foi garantido que os elementos presentes fossem minimamente utilizados, mesmos que não possuam observações relevantes em virtude dos termos experimentados.

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>>. Citado na página 41.
- 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 2 vezes nas páginas 13 e 18.
- 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 36.
- 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>>. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- 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 3 vezes nas páginas 14, 17 e 35.
- ASHTON, K. That internet of things. *RFID journal*, v. 22, n. 1, p. 1–7, 1999. Citado na página 17.
- 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 33 e 35.
- 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. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- 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. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- 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>>. Citado na página 32.

BURNS, B. *Designing Distributed Systems: Patterns and paradigms for scalable, reliable services*. [S.l.: s.n.], 2018. 165 p. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 22.

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>>. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

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 4 vezes nas páginas 14, 18, 31 e 32.

EKUAN, M. *Throttling pattern - Azure Architecture Center*. 2019. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/throttling>>. Citado 3 vezes nas páginas 22, 23 e 40.

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 17.

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/>>. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

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 6 vezes nas páginas 14, 31, 32, 47, 55 e 70.

International Organization for Standardization. *ISO 9000: Quality management systems - Fundamentals and vocabulary*. Genebra, 2015. Citado na página 33.

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/>>. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

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 9 vezes nas páginas 13, 18, 19, 20, 31, 32, 37, 39 e 41.

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/>. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

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 5 vezes nas páginas 14, 31, 32, 33 e 41.

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>. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.

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 26.

KWASNIK, B. The Role of Classification in Knowledge Representation and Discovery'. 1999. Citado na página 24.

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 3 vezes nas páginas 31, 32 e 39.

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/>. Citado na página 32.

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 3 vezes nas páginas 31, 32 e 41.

LUO, H. et al. Optimal sleep time controller based on traffic prediction and residual energy in duty-cycled wireless sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, v. 13, n. 12, p. 155014771774890, dez. 2017. ISSN 1550-1477, 1550-1477. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1550147717748909>. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 55.

MARTINS, F. R. et al. Atlas brasileiro de energia solar 2. Inpe, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 55 e 56.

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 6 vezes nas páginas 13, 19, 21, 30, 38 e 40.
- 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 17.
- 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 37.
- 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 38.
- 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/>>. Citado 4 vezes nas páginas 31, 32, 45 e 70.
- 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 18.
- 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 5 vezes nas páginas 13, 14, 19, 21 e 30.
- 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 7 vezes nas páginas 14, 19, 20, 31, 32, 37 e 64.
- TUTIEMPO. *Tempo em Natal - RN*. 2023. Acesso em: 12 dez. 2023. Disponível em: <<https://pt.tutiempo.net/natal.html>>. Citado na página 55.
- 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 3 vezes nas páginas 15, 24 e 25.

- 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 39.
- WIERINGA, R. et al. Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: A proposal and a discussion. *Requir. Eng.*, v. 11, p. 102–107, 03 2006. Citado na página 30.
- 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 26.
- 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 18.
- 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/>>. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- 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 4 vezes nas páginas 31, 32, 41 e 47.
- 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 25.

Anexos