

UMA INTRODUÇÃO À REVISÃO SISTEMÁTICA DA RESPOSTA DA DEMANDA DO SETOR RESIDENCIAL

Alysson de Lima Ponciano¹

Giovanni Cordeiro Barroso¹

Lucas Silveira Melo¹

¹*Universidade Federal do Ceará*

DOI: 10.47168/rbe.v30i4.900

RESUMO

O setor residencial é marcado por uma curva de carga característica em comparação com outros setores. O seu pico no início do período noturno traz desafios para a integração de fontes renováveis, como a solar fotovoltaica. A academia, governo e organizações participantes do setor elétrico estudam a aplicação da Resposta da Demanda para minimizar o *Peak-to-Average Ratio* (PAR), ao deslocar a carga de pico para regiões com baixa carga e com uma maior geração de fontes não-despacháveis. A Resposta da Demanda é vista como uma aliada para os planejadores do sistema elétrico, porém para os consumidores ainda existe resistência por questões que têm impacto financeiro e no conforto, além da rejeição do que é novo. Uma Revisão Sistemática da Resposta da Demanda no setor residencial foi realizada entre os anos de 2014 e 2024 mapeando algoritmos de otimização, quantidade de participantes, fontes de geração e armazenamento e tipos de programas de resposta da demanda que visam esclarecer o atual estado da arte do tema para consumidores e organizações participantes do setor elétrico. Foi possível observar que a maioria dos programas de resposta da demanda reportados na literatura é baseada em preço (89%), com funções multiobjetivo (63%), apenas no campo da simulação (90%) e com aplicação em uma única residência (75%).

Palavras-chave: Resposta da demanda; Revisão sistemática; Setor residencial.

ABSTRACT

The residential sector is characterized by a load curve that is distinct compared to other sectors. Its peak at the beginning of the evening presents challenges for the integration of renewable sources such as solar photovoltaics. Organizations such as the academia, government and others participating in the electricity sector are studying the appli-

cation of Demand Response to minimize the peak-to-average ratio by shifting peak load to regions with low load and higher generation from non-dispatchable sources. Demand Response is seen as an ally for power system planners; however, there is still resistance from consumers due to financial and comfort-related issues, as well as a general rejection of new concepts. A Systematic Review of Demand Response in the residential sector was conducted between 2014 and 2024, mapping optimization algorithms, the number of participants, generation and storage sources, and types of demand response programs that aim to clarify the current state of the art of the topic for consumers and organizations participating in the electric sector. It was possible to observe that most demand response programs reported in the literature are price-based (89%), with multi-objective functions (63%), only in the simulation field (90%) and with application to a single residence (75%).

Keywords: Demand response; Systematic review; Residential sector.

1. INTRODUÇÃO

A demanda mundial por eletricidade cresce a cada ano (IEA, 2024). Por isso, é necessário que a geração de eletricidade cresça na mesma proporção, ou acima, para evitar desabastecimento em setores da economia mundial. A Figura 1 mostra a crescente da geração de eletricidade por diversas fontes durante uma sequência de anos. As fontes solar e eólica vêm ganhando cada vez mais espaço na matriz de eletricidade global, porém longe do cenário no qual há substituição total das fontes poluentes. Na figura podem ser observados os impactos da crise econômica, em 2009, e da pandemia da COVID-19, em 2020.

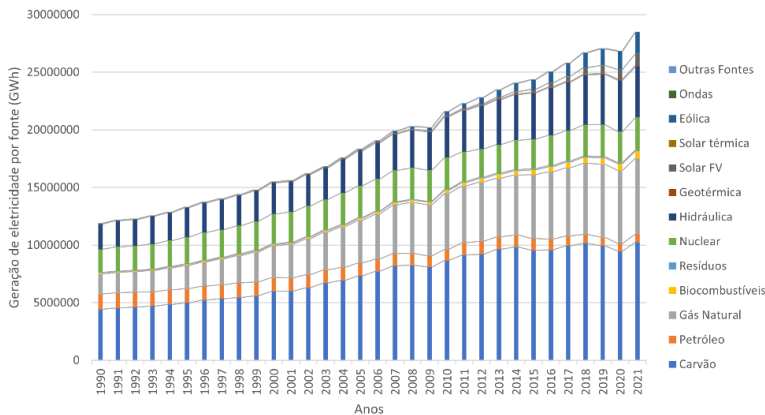


Figura 1 - Geração mundial de eletricidade por fonte durante os anos 1990-2021

A Equação 1 mostra a relação de potência gerada e demandada em um dado instante de tempo. Ao expandir a equação em função das fontes despacháveis e não-despacháveis, chegamos à Equação 2. Cada termo representado na equação possui características distintas, como disponibilidade para a geração, momentos de picos e de vale, impactos ambientais e a efetiva capacidade de geração. No lado da geração, há fontes que podem se ajustar com a carga com uma maior facilidade, como a entrada de hidrelétricas devido à natureza despachável. A expansão das fontes da transição energética limpa é caracterizada pela natureza não-despachável, como as fontes solar fotovoltaica e eólica. Ao focar em fontes não-despacháveis e não ter adaptabilidade do sistema frente as novas composições da matriz energética, o Sistema Elétrico de Potência (SEP) tem incertezas de suprimento e pode colocar em risco a segurança energética nacional. Devido à dificuldade de implementação das fontes despacháveis, principalmente por questões ambientais, são necessárias adequações, em decorrência das fontes não-despacháveis. Alternativas são necessárias para armazenar energia excedente ou deslocar a carga para os horários com potencial excesso de geração por meio do Gerenciamento do Lado da Demanda (GLD).

$$P_{gen}(t) = P_{dem}(t) \quad (1)$$

$$P_{des}(t) + P_{ndes}(t) = P_{res}(t) + P_{ind}(t) + \dots + P_{com}(t) \quad (2)$$

em que $P_{gen}(t)$, $P_{dem}(t)$, $P_{des}(t)$, $P_{ndes}(t)$, $P_{res}(t)$, $P_{ind}(t)$ e $P_{com}(t)$ são as potências instantâneas da geração, demanda, despacháveis, não-despacháveis, residências, indústrias, comércios. No âmbito de geração em residências, ou seja, geração distribuída, a fonte geradora de eletricidade mais comum é a solar fotovoltaica. A curva tradicional de geração solar fotovoltaica indica geração durante o período do dia e um pico por volta das 12-13 horas. O pico da demanda residencial acontece entre o horário de 17-21 horas. Dessa forma, o pico de geração deste tipo de fonte não é coincidente com o pico de consumo. Portanto, há uma necessidade de adequação que visa minimizar os impactos e maximizar os benefícios para a rede elétrica. Existem alguns mecanismos que podem fornecer essa adequação, como um sistema de armazenamento de energia elétrica e/ou GLD, com sua componente de Resposta da Demanda. O armazenamento de energia elétrica é uma solução para o excedente da geração e para utilizá-la em momentos de picos. Porém, na ausência de alternativas para armazenamento de eletricidade, a Resposta da Demanda (RD) é vista como uma

das soluções para os planejadores do setor elétrico, pois por meio de incentivos e/ou preços produz-se mudanças no formato da curva de consumo.

O GLD possui seis tipos de ações características na curva de carga: são elas o corte de pico, preenchimento de vale, deslocamento de carga, conservação estratégica, crescimento estratégico da carga e curva de carga flexível (GELLINGS, 1985). O corte de pico é geralmente ocasionado pelo programa de incentivos denominado Controle Direto da Carga, *Direct Load Control* (DLC), em que a gerenciadora de energia necessita cortar carga devido à falta de geração, e há compensações por essa ação. A utilização de energia elétrica em momentos nos quais há baixo consumo é denominado preenchimento de vale. O deslocamento de carga visa reduzir por muitas vezes a Razão Pico-Média, *Peak-to-Average Ratio* (PAR), ou seja, linearizar a curva de carga, além da redução de custos e aumentar a estabilidade do sistema ao evitar sobrecarga da rede em momentos de pico. A conservação estratégica envolve ações gerenciadas pelas concessionárias de energia elétrica visando mudanças na curva de carga por conta de menor consumo. Existem momentos em que as tarifas estão baixas e o crescimento estratégico da carga é uma oportunidade futura para carregar os sistemas de armazenamento de energia (SAE) e as baterias dos veículos elétricos (VE). Quando se tem uma curva de carga flexível, as ações de RD possuem melhores resultados devido à escolha ótima indicada pelos algoritmos de otimização para posicionar as cargas durante o dia. Na Figura 2 são representados os seis tipos de ações características na curva de carga.

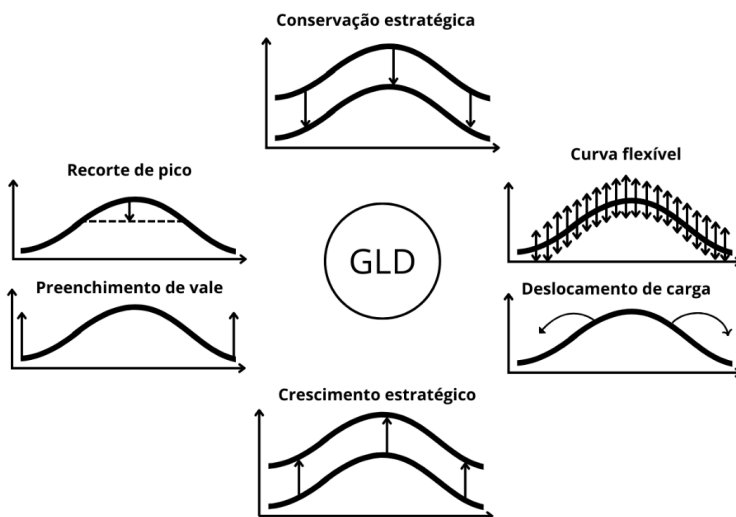


Figura 2 – Seis tipos de ações na curva de carga

2. PROGRAMAS DE RESPOSTA DA DEMANDA E A VI-SÃO DA EPE

Nesta seção são abordados os programas de resposta da de-manda e as classificações dos programas de resposta da demanda de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), além de contextualizar a importância dos algoritmos de otimização dentro dos programas de resposta da demanda.

2.1 Programas de resposta da demanda

A RD é um mecanismo que permite aos consumidores maior gerenciamento do consumo da energia elétrica, por meio dos progra-mas baseados em preço e incentivos (EPE, 2023). Na Tabela 1 (EPE, 2023) são apresentados os programas que são baseados no preço e no incentivo, de acordo com a EPE. Desses programas, os mais comu-nemente tratados na literatura são o DLC, *Time-of-Use* (TOU), *Real-Time Pricing* (RTP) e *Critical Peak Pricing* (CPP). Os programas baseados em incentivos são marcados por uma atuação direta das concessioná-rias ou agregadores de energia elétrica, visando o corte e acionamento de cargas em períodos específicos. Agregadores de energia são agen-tes de uma comunidade, por exemplo, um conjunto de residências, que promovem gerenciamento do consumo. A recompensa por alterar o conforto de forma forçada é alçada no espectro financeiro. Os pro-gramas de incentivos são importantes para os planejadores do siste-ma elétrico, principalmente para evitar congestionamento das redes de distribuição e desabastecimento da geração. Os programas basea-dos em preço são alternativas indiretas que provocam a utilização de cargas em momentos de baixa utilização da rede, em que o custo de eletricidade é mais baixo.

Tabela 1 – Programas de resposta da demanda

Programas baseados em incentivos	Programas baseados em preço
Licitação de demanda (<i>Demand Bidding</i>)	Preço de pico crítico (<i>Critical Peak Pricing</i>)
Controle direto da carga (<i>Direct Load Control</i>)	Reembolso por tempo de pico (<i>Peak Time Rebate</i>)
Reservas não girantes (<i>Non-Spinning Reserves</i>)	Preço em tempo real (<i>Real-Time Pricing</i>)
Carga interrompível (<i>Interruptible Load</i>)	Preço por tempo de uso (<i>Time-of-Use Pricing</i>)
Carga como recurso de capacidade (<i>Load as Capacity Resource</i>)	
Resposta da demanda de emergência (<i>Emergency Demand Response</i>)	
Programa de Serviços Ancilares (<i>Ancillary Services Programs</i>)	
Reservas girantes (<i>Spinning Reserves</i>)	

2.2 Algoritmos de otimização

As residências que fazem parte dos programas de resposta da demanda possuem a necessidade de serem casas inteligentes (*smart homes*), em que as suas cargas são passíveis de controle por um sistema de gerenciamento de energia residencial (SGER). O SGER é responsável por gerenciar todos os recursos de uma *smart home*, como cargas, fontes de armazenamento e geração, preços do mercado de energia elétrica e comunicação bidirecional com a distribuidora de energia elétrica. Para gerenciar todos esses recursos de forma ótima são necessários algoritmos de otimização e eles fazem parte do SGER. Os algoritmos de otimização visam buscar uma maior eficiência da utilização dos recursos energéticos disponíveis através do rearranjo das cargas e das fontes de geração e armazenamento de energia, conforme os requisitos da função objetivo. A função objetivo será alvo de minimização ou maximização, será mono-objetivo ou multiobjetivo, em uma camada ou várias camadas. Os objetivos comuns para as residências são minimização do PAR, da conta de eletricidade e do desconforto. Para concessionárias os objetivos são a minimização do custo de geração, emissões de gases de efeito estufa e o PAR, além da maximização das receitas na venda de eletricidade. Os algoritmos podem ser exatos e ter a melhor resposta, mas em contrapartida há um maior custo computacional e uma maior dificuldade de encontrar a resposta ótima em decorrência da formulação do problema. Heurísticos podem encontrar soluções aproximadas, com um custo computacional inferior e menor dificuldade na formulação do problema.

3. MÉTODO

A Revisão Sistemática (RS) tem como objetivo identificar, analisar e interpretar as evidências disponíveis relacionadas com um particular tópico de pesquisa ou fenômeno de interesse (NAKAGAWA et al., 2017). A RS procede de uma metodologia que é passível de reprodução e pode ser auditada, e para isso é necessário que as etapas sejam disponibilizadas. O StArt¹ foi a plataforma utilizada para o desenvolvimento da RS.

3.1 Objetivo

O objetivo da revisão sistemática é a identificação, classificação e sumarização de programas de Resposta da Demanda (PRDs) voltados para aplicações em residências, reportados na literatura científica entre 2014-2024.

¹ Sítio eletrônico da ferramenta: <https://www.lapes.ufscar.br/resources/tools-1/start-1>

3.2 Protocolo

Os procedimentos adotados ao longo da RS são definidos na etapa do protocolo. É fundamental que caso haja alguma alteração no protocolo durante a RS, toda a RS seja revista na parte que sofre alteração.

3.2.1 Questões de pesquisa

As questões de pesquisa são norteadoras para a extração das informações do trabalho. São consideradas as seguintes perguntas:

- Quais os tipos de programas de DR aplicados a residências e quais suas características?
- Quais são as soluções de DR aplicadas e suas respectivas técnicas de otimização?
- Quantas residências participam dos programas de DR?
- Quais são as fontes de geração e tecnologias de armazenamento de energia presentes em Programas de Resposta da Demanda (PRDs)?

3.2.2 Estratégias de busca

Foram selecionadas quatro plataformas de busca de artigos internacionais devido a sua facilidade em buscar artigos através de *strings* e permitir buscas avançadas com atuações nas áreas de engenharia. São elas:

- Web of Science (<https://apps.webofknowledge.com/>);
- Scopus (<https://www.scopus.com/>);
- Engineering Village (<https://www.engineeringvillage.com/>);
- IEEE Xplore (<https://ieeexplore.ieee.org/>).

3.2.3 String de busca e palavras-chave

Para a formação das *strings* de busca foi utilizada a lógica indicada na Tabela 2 como referência para utilização dos operadores lógicos AND, OR e NOT. Os termos de busca e sinônimos da Tabela 2 estão presentes no campo “palavras-chave e sinônimos” da plataforma StArt. A *string* generalista prevista na Tabela 3 é formada de acordo com a Tabela 2. Cada plataforma de busca de artigo tem a sua própria interpretação da *string* de busca. Sendo assim, as *strings* finais de cada plataforma estão contidas, respectivamente, na Tabela A1 A1 para Web of Science, Tabela A2 para Scopus, Tabela A3 para Engineering

Village e Tabela A4 para IEEE Xplore; essas tabelas são apresentadas no Apêndice A. Em cada plataforma foram aplicados os filtros de tempo e artigos.

Tabela 2 – Formação dos termos para *string* de busca

Termo de busca	Sinônimos	Plural	Abreviação
<i>Demand Response</i>	-	-	DR
<i>Home</i>	<i>Residential, Domestic</i>	-	-
<i>Energy Management</i>	<i>Energy Efficiency</i>	-	-
<i>Scheduling</i>	<i>Shift*, adjustment, optimization</i>	-	-

Tabela 3 – *String* de busca genérica

String
((<i>Demand Response</i>) OR DR) AND (<i>home</i> OR <i>residential</i> OR <i>domestic</i>) AND ((<i>Energy Management</i>) OR (<i>Energy Efficiency</i>)) AND (<i>scheduling</i> OR <i>shift*</i> OR <i>adjustment</i> OR <i>optimization</i>)

3.2.4 Critérios de seleção

Os critérios de seleção visam filtrar os artigos com base em critérios de inclusão e exclusão, para encontrar os trabalhos que compõem a RS. A Figura 3 mostra as etapas adotadas para a Revisão Sistemática. Na fase 0 foram aplicadas as *strings* nas fontes de buscas, e os arquivos com extensão ris e bib gerados foram incluídos no StArt. Na plataforma foram retirados os artigos duplicados, por meio de uma ferramenta própria da plataforma, e foi aplicado um critério em que o artigo analisado deveria ter um *Score* superior ou igual a 50. O *Score* é um critério que visa ranquear os artigos que têm as palavras previstas na Tabela 2, no título, resumo e nas palavras-chave. A pontuação dada por cada aparição de palavra está indicada na Tabela 4. Um exemplo de aplicação deste critério é um artigo que possui dois termos no título, 15 no resumo e três nas palavras-chave, e terá pontuação de 64, enquanto um artigo com apenas dois termos no resumo terá seis como pontuação. A leitura do título e do resumo foi realizada na Fase 1, seguida da aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. A leitura superficial e a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão foram realizadas na Fase 2. Os artigos que foram aceitos em todas as etapas anteriores compõem a RS apresentada neste trabalho. A Figura 4 mostra o quantitativo de artigos que passaram de uma fase para outra. Note que a operação que retirou a maior quantidade de artigos foi a Fase 0. Em artigos duplicados foram retirados 1572, já pelo critério do *Score* igual ou superior a 50, foram retirados 3545 artigos.

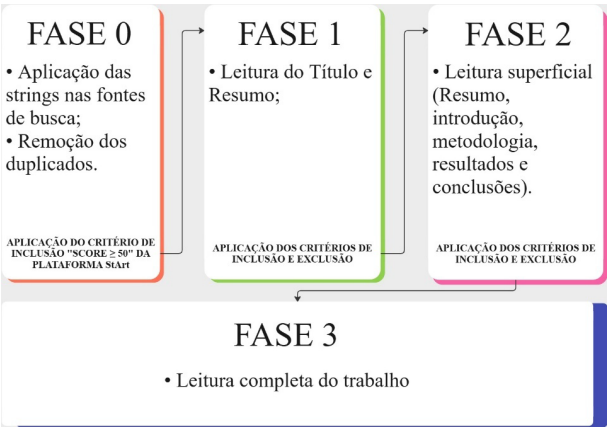


Figura 3 – Fases adotadas na revisão sistemática

Tabela 4 – Pontuação para formação do score

Trecho	Pontuação por aparição
Título	5
Resumo	3
Palavras-chave	2

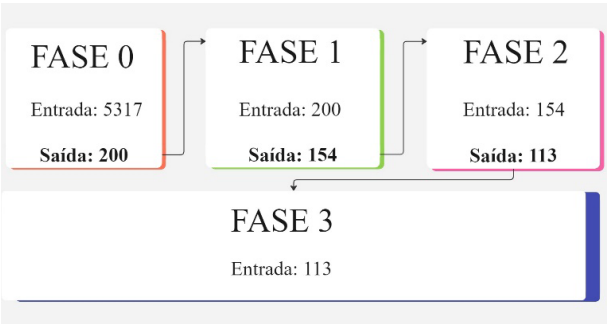


Figura 4 – Artigos remanescentes por fase

Para um artigo passar para a próxima fase, todos os critérios de inclusão necessitam ser atendidos. Para este trabalho, os seguintes critérios foram usados:

- (I) Estudos publicados em português, inglês e espanhol;
- (I) Estudos com implementações de Resposta a Demanda e métodos de otimização aplicados a residências;
- (I) Estudos publicados entre 2014-2024.

Para a exclusão de um artigo é necessário que apenas um critério de exclusão seja selecionado. Os seguintes critérios de exclusão foram adotados:

- (E) Estudos com implementações de resposta a demanda para indústrias;
- (E) Estudos não contemplados pelos critérios de inclusão;
- (E) Estudos com implementações de resposta a demanda para comércio;
- (E) Estudos em formato de resumo ou resumo estendido;
- (E) Estudos considerados *surveys* e *review*;
- (E) Repositório que não possui acesso pelo CAFE da Universidade Federal do Ceará, ou está hospedado em um *site* com o idioma diferente de português, inglês ou espanhol;
- (E) *Score* do artigo na plataforma StArt inferior a 50;
- (E) Estudos que não abordam qual o programa de resposta da demanda.

A etapa de planejamento foi finalizada com a definição do protocolo para a RS. A etapa de condução foi realizada na Plataforma StArt.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plataformas são fundamentais para a busca de artigos em repositórios internacionais. Para facilitar a visualização em outras tabelas, a Tabela 5 é apresentada com um código de identificação para cada artigo encontrado no processo da revisão sistemática. A Tabela B1, no Apêndice B, mostra quais artigos foram retornados de cada base. Note que Scopus obteve o maior retorno, com 45 artigos, e houve empate em quantidade entre Web of Science e IEEE Xplore. Os trabalhos selecionados estão dentro de um intervalo temporal de janeiro de 2014 e abril de 2024. A Figura 5 mostra a quantidade de artigos selecionados de acordo com a data de publicação. Os anos 2018 e 2021 foram os com mais retorno de artigos, 18 e 22 artigos, respectivamente. O ano 2014 foi o com a menor quantidade de artigos selecionados e 2024 possui um número inferior devido ao ano não estar finalizado quando este artigo foi escrito.

Tabela 5 – Identificação dos autores

ID	Autores	ID	Autores	ID	Autores
1	Tostado-Veliz et al. (2023)	39	Ur Rehman et al. (2021)	77	Chen et al. (2020)
2	Elkazaz et al. (2020)	40	Hafeez et al. (2020)	78	Wassem et al. (2021)
3	Alhasnawi et al. (2020)	41	Li et al. (2017)	79	Wang et al. (2023)
4	Zhang et al. (2016)	42	Hussain et al. (2018)	80	Hussain e Qadeer-UI-Hassan (2016)
5	Park et al. (2017)	43	Rehman et al. (2021)	81	Hussain et al. (2024)
6	Munankarmi et al. (2021)	44	Ur Rahman Habib et al. (2022)	82	Roy et al. (2017)
7	Mahmoudi et al. (2020)	45	Taik e Kiss (2021)	83	Yao et al. (2016)
8	Fan et al. (2023)	46	Rastegar et al. (2018)	84	Suleman et al. (2022)
9	Joo e Choi (2017)	47	Petrucchi et al. (2023)	85	Li et al. (2020)
10	Panwar (2017)	48	Zhou et al. (2023)	86	Li et al. (2019)
11	Mahmood et al. (2023)	49	Hafeez et al. (2020)	87	Hussain et al. (2023)
12	Shewale et al. (2024)	50	Ayci et al. (2021)	88	Shafiq et al. (2018)
13	Jordehi (2020)	51	Kakran e Chanana (2019)	89	Khalid e Javaid (2018)
14	Khan et al. (2019)	52	Parvin et al. (2020)	90	Sadiq et al. (2021)
15	Alilou et al. (2020)	53	Imran et al. (2020)	91	Bukhsh et al. (2018)
16	Tostado-Veliz et al. (2022)	54	Amer et al. (2021)	92	Mateen et al. (2018)
17	Sadat-Mohammadi et al. (2020)	55	Ahmed et al. (2016)	93	Latif et al. (2018)
18	Nan et al. (2018)	56	Monyei e Adewumi (2018)	94	Reka e Ramesh (2016)
19	Zhang et al. (2020)	57	Tutkun et al. (2021)	95	Rahman et al. (2020)
20	Iqbal et al. (2020)	58	Ramalingam e Shanmugam (2022)	96	Alfaverh et al. (2019)
21	Iqbal et al. (2019)	59	Xiong et al. (2023)	97	Nawaz et al. (2020)
22	Zamanloo et al. (2021)	60	Wang e Paranjape (2017)	98	Liang et al. (2020)
23	Yao e Teo (2022)	61	Priolkar e Sreeraj (2024)	99	Nizami et al. (2018)
24	Yu et al. (2022)	62	Sangswang e Konghirun (2020)	100	Yao et al. (2017)
25	Reka et al. (2023)	63	Alfaverh et al. (2023)	101	Saboor et al. (2018)
26	Ahmed et al. (2017)	64	Ojand e Dagdougui (2022)	102	Wassem et al. (2021)
27	Youssef et al. (2023)	65	Wu et al. (2014)	103	Abdelwahed et al. (2021)
28	Shokri Gazafroudi et al. (2019)	66	Kong et al. (2020)	104	Reghukumar et al. (2018)
29	Singh (2024)	67	Lin e Hu (2018)	105	Rajasekhar e Pindoriya (2015)
30	Ben Slama e Mahmoud (2023)	68	Herath e Venayagamoorthy (2021)	106	Ramalingam e Shanmugam (2022)

Tabela 5 – Identificação dos autores (cont.)

ID	Autores	ID	Autores	ID	Autores
31	Li e Xu (2024)	69	Nadeem et al. (2018)	107	Bhamidi e Sivasubramani (2020)
32	Huang et al. (2020)	70	Tantawy et al. (2022)	108	Jordehi (2019)
33	Veras et al. (2018)	71	Wang et al. (2021)	109	Bhamidi e Sivasubramani (2021)
34	Luo et al. (2019)	72	Dinh et al. (2022)	110	Ramalingam e Shanmugam (2021)
35	Zhang et al. (2015)	73	Javaid et al. (2017)	111	Fan et al. (2019)
36	Nie et al. (2023)	74	Besheer et al. (2018)	112	Khalid et al. (2018)
37	Esmaeel Nezhad (2022)	75	Rathor et al. (2020)	113	Alfaverh et al. (2023)
38	Lin e Tsai (2015)	76	Zhang et al. (2015)		

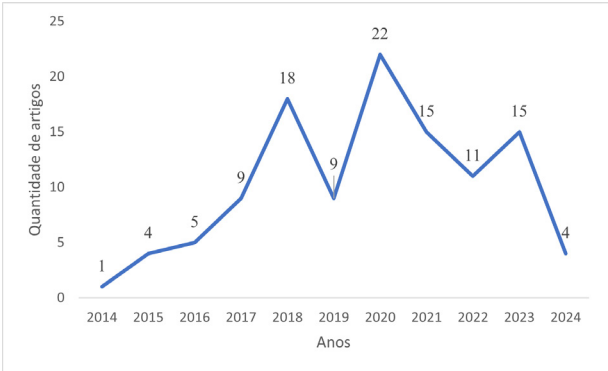


Figura 5 – Número de trabalhos selecionados por ano de publicação

4.1 Programas de Resposta da Demanda

Os Programas de Resposta da Demanda (PRD) são diversos devido à nomenclatura própria em cada país (por exemplo: Tarifa Branca no Brasil - *Time of Use*), e alguns artigos não seguem a nomenclatura prevista na Tabela 1. A maioria dos trabalhos analisados possui uma das seguintes características: (I) Comparam cenários em um único PRD, (II) Comparam o mesmo cenário para diversos PRDs, (III) Comparam cenários diversos para diversos PRDs. No Apêndice B, a Tabela B2 mostra os trabalhos que consideram cenários de preço, incentivos e a comparação ou hibridização de ambos os PRDs. Os PRDs baseados em preços são maioria devido aos mercados de eletricidade possuírem tarifas que permitem a sua utilização, a disponibilização das informações desses mecanismos em base de dados, *sites* governa-

mentais, de distribuidoras de energia, operadoras do sistema e mercado de comercialização de energia. A Tabela B3 mostra quantos e quais trabalhos mencionam cada tipo de programa. O símbolo “+” significa uma junção dos dois programas, enquanto a “,” mostra que houve uma comparação entre eles. Não foi possível definir o PRD utilizado por Reka et al. (2023), logo este recebeu uma classificação de “Outros”.

4.2 Otimização dos PRDs

A otimização dos PRDs é crucial para obter a maior eficiência e essa eficiência está entrelaçada com o que se deseja maximizar ou minimizar na função objetivo. A Tabela B4 mostra quais e quantos trabalhos seguiram o caminho das funções mono-objetivo e multiobjetivo. Note que 63% dos artigos são multiobjetivos e isso mostra que para os consumidores há vários alvos na função objetivo, como redução de conta de eletricidade, do consumo de eletricidade, da tarifa de eletricidade, do desconforto, das emissões de carbono, PAR e outros. Porém, existem objetivos diferentes por parte dos outros participantes dos PRDs, como agregadores, operadores e distribuidoras de energia, que diferem dos consumidores. Alvos como a maximização dos lucros, minimização dos custos operacionais, minimização do uso de fontes poluentes e outros.

Além disso, existem trabalhos que realizaram apenas simulações e os que fizeram experimentação prática com aplicação em sistemas embarcados, como mostra a Tabela B5. Para as implementações embarcadas foram utilizados Raspberry (ELKAZAZ et al., 2020) (ALHASNAWI et al., 2020), ARM Cortex-A90 (LIN e TSAI, 2015), Arduino (RAHMAN et al., 2020), (PRIOLKAR E SREEJAJ, 2024), PIC18F4550 (ABDELWAHED et al., 2021), Sistema embarcado (SANGSWANG e KONGHIRUN, 2020), Transmissão de dados por Xbee (AHMED et al., 2017) e BeagleBoard (LIN e HU, 2018). Quanto aos métodos de otimização, diversos foram utilizados, comparados, melhorados e unificados em uma única ou múltiplas camadas. A Tabela B6 mostra em quais trabalhos cada método foi utilizado.

4.3 Participantes dos PRDs

Os algoritmos de otimização podem levar em consideração uma única ou várias residências. Essa análise é importante para verificar os impactos da resposta da demanda não somente para benefício exclusivo de um único participante, como também analisar o comportamento, resultado e a robustez da solução para diversos participantes do SEP. Os artigos desta RS foram categorizados em aplicações singulares e múltiplas, conforme mostra a Tabela B7. Note que apenas 25% dos estudos alvos da RS consideraram várias residências. Uma

análise mais abrangente tende a compreender mais os efeitos da RD na rede e seus efeitos para a sociedade. Resultados mostram que a participação de mais residências na microrrede resulta em uma redução dos custos e nas emissões totais (BHAMIDI e SIVASUBRAMANI, 2020).

A Tabela B8 mostra a participação de agregadores de energia no processo RD. Os agregadores atuam como um intermediário entre Mercado/Distribuidoras de Energia e o cliente. Sua utilidade também é associada a gerenciar a RD de uma comunidade de energia, em que se busca maximizar os benefícios dos clientes de forma generalizada e, conseqüentemente, os aspectos das linhas de distribuição e comercialização de energia elétrica. Note que cerca de 17% dos trabalhos mencionam a participação do agregador de energia, e geralmente associados com múltiplas residências.

4.4 Fontes de geração e armazenamento de energia em PRDs

As fontes de geração e armazenamento possuem uma grande expressividade no sucesso dos PRDs, pois a presença dos Recursos Energéticos Distribuídos (RED) permite uma maior flexibilização do uso da rede. Os REDs em residências permitem uma menor aquisição de energia elétrica da rede, resultando em uma economia na fatura. A presença de armazenadores faz com que a eletricidade comprada e armazenada em momentos de baixo valor pode ser utilizada em momentos de pico, como também evitar recorrer ao mercado de tempo real. O deslocamento de cargas não fica somente suscetível ao preço e incentivo do mercado, mas também com a disponibilidade dos REDs na residência. A Tabela B9 informa quantos e quais trabalhos utilizaram os Veículos Elétricos (VE), Baterias, Fotovoltaicas (FV), geração Eólica, com Biomassa, Célula a Combustível e Gerador a diesel na geração e armazenamento de energia. Note que para o ambiente residencial, a maioria dos trabalhos estão na categoria sem DERs (46) e com FV + Baterias (31), ou seja, são esses os elementos mais presentes em aplicações de resposta da demanda em residências.

5. CONCLUSÕES

A RS visa a obtenção e sintetização de dados que respondem às questões de pesquisa, e neste trabalho foram feitas quatro perguntas. A primeira aborda os PRDs e notou-se uma expressividade em programas baseados em preço, com quase 90% de participação. A junção ou comparação dos PRDs baseados em preço e incentivo traz uma dinâmica maior na relação cliente/fornecedor de energia elétrica. A segunda pergunta trata da otimização dos PRDs e suas caracterís-

ticas. Funções multiobjetivo possuem uma maior participação na amostra analisada e, conseqüentemente, mais fatores estão envolvidos na minimização ou maximização, tornando o sistema mais robusto. A robustez não fica associada somente à redução da fatura de eletricidade, mas também redução em aspectos fundamentais, como PAR, desconforto e emissões de gases de efeito estufa. Dentre os trabalhos selecionados, 90% ficaram somente no campo da simulação, e isso indica a maior necessidade de trabalhos com implementação real, porém a utilização do Score superior ou igual a 50 e a falta de termos como “implementação” penalizou a identificação desses trabalhos, já que 3545 artigos foram desclassificados pela métrica implementada. A terceira pergunta está no campo da quantidade de participantes nos PRDs. Cerca de 75% dos trabalhos selecionados não consideram os impactos em mais de uma residência, e apenas 17% consideraram a participação de agregadores de energia elétrica. A última pergunta trata sobre os REDs e seu envolvimento com os PRDs. Dentro dos cenários analisados, a maior parte se concentra na não existência de REDs, mas em um número expressivo dos artigos consideram FV+Baterias. Naturalmente, são os cenários mais prováveis de se encontrar em uma residência, contudo analisando uma comunidade de energia, ou seja, um agrupamento de residências gerido por um agregador, ou uma microrrede, as outras fontes podem ser incluídas. Muitos trabalhos consideraram a existência de Veículos Elétricos, porém somente no âmbito de cargas e não mostraram interações com transações de fornecimento de energia para a casa ou para a rede.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELWAHED, A. S. et al. Implementation of a priority-based home energy management system. In: 2021 International Mobile, Intelligent, and Ubiquitous Computing Conference (MIUCC). [S. l.: s. n.], 2021. p. 84–89.

AHMED, M. et al. Hybrid Isa-ann based home energy management scheduling controller for residential demand response strategy. *Energies*, v. 9, n. 9, 2016

AHMED, M. S. et al. Real time optimal schedule controller for home energy management system using new binary backtracking search algorithm. *ENERGY AND BUILDINGS*, v. 138, p. 215–227, MAR 1 2017

ALFAVERH, F. et al. Demand-response based energy advisor for household energy management. In: 2019 Third World Conference on Smart Trends in Systems Security and Sustainability (WorldS4). [S. l.: s. n.], 2019. p. 153–157.

ALFAVERH, F. et al. User comfort-oriented home energy management system under demand response. In: 2023 IEEE IAS Global Conference on Emerging Technologies (GlobConET). [S. l.: s. n.], 2023. p. 1–7.

ALFAVERH, K. et al. Plugged-in electric vehicle-assisted demand response strategy for residential energy management. *Energy Informatics*, v. 6, n. 1, 2023.

ALHASNAWI, B. N. et al. A novel smart energy management as a service over a cloud computing platform for nanogrid appliances. *SUSTAINABILITY*, v. 12, n. 22, NOV 2020.

ALILOU, M. et al. Home energy management in a residential smart micro grid under stochastic penetration of solar panels and electric vehicles. *SOLAR ENERGY*, v. 212, p. 6–18, DEC 2020.

AMER, A. et al. Home energy management system embedded with a multi-objective demand response optimization model to benefit customers and operators. *Energies*, v. 14, n. 2, 2021.

AYCI, D. et al. S. Energy optimisation models for self-sufficiency of a typical turkish residential electricity customer of the future. *Energies*, v. 14, n. 19, 2021.

BESHEER, A. et al. Unified algorithm for demand-side appliance commitment. *Energies*, v. 11, n. 12, 2018.

BHAMIDI, L.; SIVASUBRAMANI, S. Optimal planning and operational strategy of a residential microgrid with demand side management. *IEEE Systems Journal*, v. 14, n. 2, p. 2624–2632, 2020.

BHAMIDI, L.; SIVASUBRAMANI, S. Optimal sizing of smart home renewable energy resources and battery under prosumer-based energy management. *IEEE Systems Journal*, v. 15, n. 1, p. 105–113, 2021.

BUKSH, R. et al. Appliances scheduling using hybrid scheme of genetic algorithm and elephant herd optimization for residential demand response. In: 2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA). [S. l.: s. n.], 2018. p. 210–217.

CHEN, X. et al. Artificial neural network-aided energy management scheme for unlocking demand response. In: 2020 Chinese Control And Decision Conference (CCDC). Hefei, China: [S. n.], 2020. p. 1901 – 1905.

DINH, H. et al. Supervised-learning-based hour-ahead demand response for a behavior-based home energy management system approximating milp optimization. *Applied Energy*, v. 321, 2022

ELKAZAZ, M. et al. A hierarchical two-stage energy management for a home microgrid using model predictive and real-time controllers. *APPLIED ENERGY*, v. 269, JUL 1 2020.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Resposta da Demanda: Conceitos, Aspectos Regulatórios e Planejamento Energético. 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-389/NT_EPE_DEE-NT-022_2019-r0.pdf. Acesso em: 09 abr. 2024.

FAN, C.-H. et al. Sehas: A novel metaheuristic algorithm for home appliances scheduling in smart grid. In: 2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC). [S. l.: s. n.], 2019. p. 786–791.

FAN, X. M. et al. Demand response scheduling algorithm for smart residential communities considering heterogeneous energy consumption. *ENERGY AND BUILDINGS*, v. 279, JAN 15 2023.

GAZAFROUDI, A. S. et al. Stochastic interval-based optimal offering model for residential energy management systems by household owners. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER & ENERGY SYSTEMS*, v. 105, p. 201–219, FEB 2019.

GELLINGS, C. The concept of demand-side management for electric utilities. *Proceedings of the IEEE*, v. 73, n. 10, p. 1468–1470, 1985.

HABIB, H. U. R. et al. Analysis of microgrid's operation integrated to renewable energy and electric vehicles in view of multiple demand response programs. *IEEE Access*, v. 10, p. 7598–7638, 2022.

HAFAEEZ, G. et al. An innovative optimization strategy for efficient energy management with day-ahead demand response signal and energy consumption forecasting in smart grid using artificial neural network. *IEEE Access*, v. 8, p. 84415–84433, 2020.

HAFAEEZ, G. et al. Efficient energy management of iot-enabled smart homes under price-based demand response program in smart grid. *Sensors (Switzerland)*, v. 20, n. 11, 2020.

HERATH, P.; VENAYAGAMOORTHY, G. Scalable residential demand response management. *IEEE Access*, v. 9, p. 159133–159145, 2021.

HUANG, Y. et al. A hybrid optimization approach for residential energy management. *IEEE Access*, v. 8, p. 225201–225209, 2020.

HUSSAIN, B. et al. An inventive method for eco-efficient operation of home energy management systems. *Energies*, v. 11, n. 11, 2018.

HUSSAIN, B.; QADEER-UL-HASSAN. Demand side management for smart homes in pakistan. In: 2016 International Conference on Emerging Technologies (ICET). Islamabad, Pakistan: 2016, pp. 1-6.

HUSSAIN, F. et al. A smart home based on renewable energy with net-metering and energy storage technology. In: 2023 13th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES). [S. l.: s. n.], 2023. p. 471–476.

HUSSAIN, J. et al. Microgrid and participant-centric residential demand response program and photovoltaic with battery-storage p2p energy trading for optimum energy management using mdulps and ppbsd-admm. *Journal of Energy Storage*, v. 84, 2024.

IEA. Energy Statistics Data Browser. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>. Acesso em: 10 jul. 2024

IMRAN, A. et al. Heuristic-based programable controller for efficient energy management under renewable energy sources and energy storage system in smart grid. *IEEE Access*, v. 8, p. 139587–139608, 2020.

IQBAL, M. M. et al. Optimal scheduling of residential home appliances by considering energy storage and stochastically modelled photovoltaics in a grid exchange environment using hybrid grey wolf genetic algorithm optimizer. *APPLIED SCIENCES-BASEL*, v. 9, n. 23, DEC 2019.

IQBAL, M. M. et al. Optimal scheduling of grid transactive home demand responsive appliances using polar bear optimization algorithm. *IEEE ACCESS*, v. 8, p. 222285–222296, 2020.

JAVOID, N. et al. Towards cost and comfort based hybrid optimization for residential load scheduling in a smart grid. *Energies*, v. 10, n. 10, 2017.

JOO, I.-Y.; CHOI, D.-H. Distributed optimization framework for energy management of multiple smart homes with distributed energy resources. *IEEE ACCESS*, v. 5, p. 15551–15560, 2017.

JORDEHI, A. R. Optimal scheduling of home appliances in home energy management systems using grey wolf optimisation (gwo) algorithm. In: 2019 IEEE Milan PowerTech. [S. l.: s. n.], 2019. p. 1–6.

JORDEHI, A. R. Enhanced leader particle swarm optimisation (elpso): a new algorithm for optimal scheduling of home appliances in demand response programs. *ARTIFICIAL INTELLIGENCE REVIEW*, v. 53, n. 3, p. 2043–2073, MAR 2020.

KAKRAN, S.; CHANANA, S. Energy scheduling of residential appliances by a pigeon-inspired algorithm under a load shaping demand response program. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, v. 11, n. 1, p. 18–34, 2019.

KHALID, A. et al. Towards dynamic coordination among home appliances using multi-objective energy optimization for demand side management in smart buildings. *IEEE Access*, v. 6, p. 19509–19529, 2018.

KHALID, M. U.; JAVAID, N. An optimal scheduling of smart home appliances using heuristic techniques with real-time coordination. In: *2018 1st International Conference on Power, Energy and Smart Grid (ICPESG)*. [S. l.: s. n.], 2018. p. 1–6.

KHAN, Z. A. et al. Exploiting nature-inspired-based artificial intelligence techniques for coordinated day-ahead scheduling to efficiently manage energy in smart grid. *IEEE ACCESS*, v. 7, p. 140102–140125, 2019.

KONG, X. et al. Research on home energy management method for demand response based on chance-constrained programming. *Energies*, v. 13, n. 11, 2020.

LATIF, U. et al. Cost optimization in home energy management system using genetic algorithm, bat algorithm and hybrid bat genetic algorithm. In: *2018 IEEE 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*. [S. l.: s. n.], 2018. p. 667–677.

LI, H. et al. A deep reinforcement learning based approach for home energy management system. In: *2020 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*. [S. l.: s. n.], 2020. p. 1–5.

LI, H. et al. An integrative dr study for optimal home energy management based on approximate dynamic programming. *Sustainability (Switzerland)*, v. 9, n. 7, 2017.

LI, S. et al. A real-time electricity scheduling for residential home energy management. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 6, n. 2, p. 2602–2611, 2019.

LI, W.; XU, X. A hybrid evolutionary and machine learning approach for smart building: Sustainable building energy management design. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 65, 2024.

LIANG, B. et al. Economic mpc-based smart home scheduling with comprehensive load types, real-time tariffs, and intermittent ders. *IEEE Access*, v. 8, p. 194373–194383, 2020.

LIN, Y.-H.; HU, Y.-C. Residential consumer-centric demand-side management based on energy disaggregation-piloting constrained swarm intelligence: Towards edge computing. *Sensors (Switzerland)*, v. 18, n. 5, 2018.

LIN, Y.-H.; TSAI, M.-S. An advanced home energy management system facilitated by nonintrusive load monitoring with automated multiobjective power scheduling. *IEEE Transactions on Smart Grid*, v. 6, n. 4, p. 1839–1851, 2015

LUO, F. et al. A multistage home energy management system with residential photovoltaic penetration. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 15, n. 1, p. 116–126, 2019

MAHMOOD, Z. et al. Efficient scheduling of home energy management controller (hemc) using heuristic optimization techniques. *SUSTAINABILITY*, v. 15, n. 2, JAN 2023.

MAHMOUDI, M.; AFSHARCHI, M.; KHODAYIFAR, S. Demand response management in smart homes using robust optimization. *ELECTRIC POWER COMPONENTS AND SYSTEMS*, v. 48, n. 8, p. 817–832, MAY 8 2020.

MATEEN, A. et al. Bio-inspired optimization techniques for home energy management in smart grid. In: 2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA). [S. l.: s. n.], 2018. p. 250–257.

MONYEI, C.; ADEWUMI, A. Integration of demand side and supply side energy management resources for optimal scheduling of demand response loads – south africa in focus. *Electric Power Systems Research*, v. 158, p. 92–104, 2018.

MUNANKARMI, P. et al. Community-scale interaction of energy efficiency and demand flexibility in residential buildings. *APPLIED ENERGY*, v. 298, SEP 15 2021.

NADEEM, Z. et al. Scheduling appliances with ga, tlbo, fa, osr and their hybrids using chance constrained optimization for smart homes. *Energies*, v. 11, n. 4, 2018.

NAKAGAWA, E.; SCANNAVINO, K.; FABBRI, S.; FERRARI, F. *Revisão Sistemática da Literatura em Engenharia de Software: Teoria e Prática*. Elsevier Brasil, 2017. ISBN 9788535285970. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=kCspDwAAQBAJ>.

NAN, S. et al. Optimal residential community demand response scheduling in smart grid. *APPLIED ENERGY*, v. 210, p. 1280–1289, JAN 15 2018.

NAWAZ, A. et al. Demand-side management of residential service area under price-based demand response program in smart grid. In: 2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE). [S. l.: s. n.], 2020. p. 1–6.

NEZHAD, A. E. et al. A shrinking horizon model predictive controller for daily scheduling of home energy management systems. *IEEE Access*, v. 10, p. 29716–29730, 2022.

NIE, X. et al. A novel transactive integration system for solar renewable energy into smart homes and landscape design: A digital twin simulation case study. *Solar Energy*, v. 262, 2023.

NIZAMI, M. et al. Energy cost optimization and der scheduling for unified energy management system of residential neighborhood. In: 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). [S. l.: s. n.], 2018. p. 1–6.

OJAND, K.; DAGDOUGUI, H. Q-learning-based model predictive control for energy management in residential aggregator. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, v. 19, n. 1, p. 70–81, 2022.

PANWAR, L. K. et al. Dynamic incentive framework for demand response in distribution system using moving time horizon control. *IET GENERATION TRANSMISSION & DISTRIBUTION*, v. 11, n. 17, p. 4338–4347, NOV 30 2017. ISSN 1751-8687.

PARK, L. et al. Automated energy scheduling algorithms for residential demand response systems. *ENERGIES*, v. 10, n. 9, SEP 2017.

PARVIN, K. et al. Fuzzy based particle swarm optimization for modeling home appliances towards energy saving and cost reduction under demand response consideration. *IEEE Access*, v. 8, p. 210784–210799, 2020.

PETRUCCI, A. et al. Development of energy aggregators for virtual communities: The energy efficiency-flexibility nexus for demand response. *Renewable Energy*, v. 215, 2023.

PRIOLKAR, J.; SREERAJ, E. Optimal scheduling and demand response implementation for home energy management. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, v. 14, n. 2, p. 1352–1368, 2024.

RAHMAN, M. A. et al. Demand side residential load management system for minimizing energy consumption cost and reducing peak demand in smart grid. In: 2020 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technology (ICAICT). [S. l.: s. n.], 2020. p. 376–381.

RAJASEKHAR, B.; PINDORIYA, N. M. Multi-stage scheduling for a smart home with solar pv and battery energy storage — a case study. In: 2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA). [S. l.: s. n.], 2015. p. 1–6.

RAMALINGAM, S.; SHANMUGAM, P. Investigation on optimization algorithms for smart home energy management with different electricity pricing. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering and Telecommunications*, v. 11, n. 6, p. 435–449, 2022.

RAMALINGAM, S. P.; SHANMUGAM, P. K. Scheduling smart home appliances using aco algorithm with different electricity tariff schemes. In: 2021 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT). [S. l.: s. n.], 2021. p. 1–7.

RAMALINGAM, S. P.; SHANMUGAM, P. K. Optimal battery scheduling with and without renewable energy sources for efficient home energy management. In: 2022 IEEE 19th India Council International Conference (INDICON). [S. l.: s. n.], 2022. p. 1–8.

RASTEGAR, M. et al. Developing a two-level framework for residential energy management. *IEEE Transactions on Smart Grid*, v. 9, n. 3, p. 1707–1717, 2018.

RATHOR, S. K. et al. An effective energy management system for smart residential buildings using binary particle swarm optimization. In: 2020 3rd International Conference on Emerging Technologies in Computer Engineering: Machine Learning and Internet of Things (ICETCE). Jaipur, India: [S. n.], 2020. p. 63 – 68.

REGHUKUMAR, R. et al. Multi-objective optimization for eficiente home energy management system using differential evolution algorithm. In: 2018 3rd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT). [S. l.: s. n.], 2018. p. 1157–1162.

REHMAN, A. et al. An optimal power usage scheduling in smart grid integrated with renewable energy sources for energy management. *IEEE Access*, v. 9, p. 84619–84638, 2021.

REHMAN, A. U. et al. An efficient energy management in smart grid considering demand response program and renewable energy sources. *IEEE Access*, v. 9, p. 148821–148844, 2021.

REKA, S. S.; RAMESH, V. Demand response scheme with electricity market prices for residential sector using stochastic dynamic optimization. In: 2016 Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy (PESTSE). [S. l.: s. n.], 2016. p. 1–6.

REKA, S. S. et al. Privacy-based demand response modeling for residential consumers using machine learning with a cloud-fog-based smart grid environment. *ENERGIES*, v. 16, n. 4, FEB 2023.

ROY, T. et al. Optimization in load scheduling of a residential community using dynamic pricing. In: 2017 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT). Washington, DC, United states: [S. n.], 2017.

SABOOR, A. et al. Home energy management in smart grid using evolutionary algorithms. In: 2018 IEEE 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA). [S. l.: s. n.], 2018. p. 1070–1080.

SADAT-MOHAMMADI, M. et al. Intelligent approach for residential load scheduling. *IET GENERATION TRANSMISSION & DISTRIBUTION*, v. 14, n. 21, p. 4738–4745, NOV 2 2020.

SADIQ, F. et al. Appliance scheduling in smart homes using jaya based optimization algorithm. In: 2021 16th International Conference on Emerging Technologies (ICET). [S. l.: s. n.], 2021. p. 1–6.

SANGSWANG, A.; KONGHIRUN, M. Optimal strategies in home energy management system integrating solar power, energy storage, and vehicle-to-grid for grid support and energy efficiency. *IEEE Transactions on Industry Applications*, v. 56, n. 5, p. 5716–5728, 2020.

SHAFIQ, S. et al. An approach towards efficient scheduling of home energy management system using backtracking Search optimization and tabu search. In: 2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA). [S. l.: s. n.], 2018. p. 226–231.

SHEWALE, A. et al. Efficient techniques for residential appliances scheduling in smart homes for energy management using multiple knapsack problem. *ARABIAN JOURNAL FOR SCIENCE AND ENGINEERING*, v. 49, n. 3, p. 3793–3813, MAR 2024.

SINGH, B. et al. Techno-economic feasibility analysis with energy storage and demand response program for the smart home energy management. *ELECTRICAL ENGINEERING*, 2024 FEB 24 2024.

SLAMA, S. B.; MAHMOUD, M. A deep learning model for intelligent home energy management system using renewable energy. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 123, 2023.

SULEMAN, A. et al. Smart scheduling of evs through intelligent home energy management using deep reinforcement learning. In: 2022 17th International Conference on Emerging Technologies (ICET). Swabi, Pakistan: [S. n.], 2022. p. 18 – 24.

TAIK, S.; KISS, B. Demand side electric energy consumption optimization in a smart household using scheduling and model predictive temperature control. *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transactions of the ASME*, v. 143, n. 6, 2021.

TANTAWY, E. et al. Scheduling home appliances with integration of hybrid energy sources using intelligent algorithms. *Ain Shams Engineering Journal*, v. 13, n. 4, 2022.

TOSTADO-VELIZ, M. et al. F. Home energy management system considering effective demand response strategies and uncertainties. *ENERGY REPORTS*, v. 8, p. 5256–5271, NOV 2022.

TOSTADO-VELIZ, M. et al. four-stage framework for optimal scheduling strategy of smart prosumers with vehicle-to-home capability under real time pricing based on interval optimization. *IET GENERATION TRANSMISSION & DISTRIBUTION*, v. 17, n. 17, p. 3936–3950, SEP 2023.

TUTKUN, N. et al. Intelligent scheduling of smart home appliances based on demand response considering the cost and peak-to-average ratio in residential homes. *Energies*, v. 14, n. 24, 2021.

VERAS, J. et al. A multi-objective demand response optimization model for scheduling loads in a home energy management system. *Sensors (Switzerland)*, v. 18, n. 10, 2018.

WANG, X. et al. Demand response planning via home energy management system for residential aggregators in a virtual power plant. In: 2023 8th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE). Tianjin, China: [S. n.], 2023. p. 1081 – 1085.

WANG, Z. et al. Stochastic optimization for residential demand response with unit commitment and time of use. *IEEE Transactions on Industry Applications*, v. 57, n. 2, p. 1767–1778, 2021.

WANG, Z.; PARANJAPPE, R. Optimal residential demand response for multiple heterogeneous homes with real-time price prediction in a multiagent framework. *IEEE Transactions on Smart Grid*, v. 8, n. 3, p. 1173–1184, 2017.

WASEEM, M. et al. Csoa-based residential energy management system in smart grid considering dgs for demand response. In: 2021 International Conference on Digital Futures and Transformative Technologies (ICoDT2), Islamabad, Pakistan, 2021, pp. 1-6 2021.

WASEEM, M. et al. Home energy management strategy for dr accomplishment considering pv uncertainties and battery energy storage system. In: 2021 International Conference on Emerging Power Technologies (ICEPT). [S. l.: s. n.], 2021. p. 1–5.

WU, Z. et al. Real-time scheduling of residential appliances via conditional risk-at-value. *IEEE Transactions on Smart Grid*, v. 5, n. 3, p. 1282–1291, 2014.

XIONG, L. et al. Meta-reinforcement learning-based transferable scheduling strategy for energy management. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, v. 70, n. 4, p. 1685–1695, 2023.

YAO, L. et al. Energy management optimization scheme for smart home considering different types of appliances. In: 2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). [S. l.: s. n.], 2017. p. 1–6.

YAO, L. et al. Real-time energy management optimization for smart household. In: 2016 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData). Chengdu, China: [S. n.], 2016. p. 20 – 26.

YAO, L.; TEO, J. C. Optimization of power dispatch with load scheduling for domestic fuel cell-based combined heat and power system. *IEEE ACCESS*, v. 10, p. 5968–5979, 2022.

YOUSSEF, H. et al. Smart home energy management and power trading optimization using an enhanced manta ray foraging optimization. *SCIENTIFIC REPORTS*, v. 13, n. 1, DEC 13 2023.

YU, B. et al. Power demand response in the context of smart home application. *ENERGY*, v. 240, FEB 1 2022.

ZAMANLOO, S. et al. Optimal two-level active and reactive energy management of residential appliances in smart homes. *SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY*, v. 71, AUG 2021.

ZHANG, D. et al. An optimal and learning-based demand response and home energy management system. *IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID*, v. 7, n. 4, p. 1790–1801, JUL 2016.

ZHANG, D. et al. An integrative study of home energy management for residential energy consumers. In: 2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER). 390, Qingnian Street, Heping District, Shenyang, China: [S. n.], 2015. p. 223 – 228.

ZHANG, Y. et al. A novel multiobjective optimization algorithm for home energy management system in smart grid. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2015, 2015.

ZHANG, Z. et al. Optimal scheduling model for smart home energy management system based on the fusion algorithm of harmony search algorithm and particle swarm optimization algorithm. SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR THE BUILT ENVIRONMENT, v. 26, n. 1, SI, p. 42–51, JAN 2 2020.

ZHOU, J. et al. Digital twin application for reinforcement learning based optimal scheduling and reliability management enhancement of systems. Solar Energy, v. 252, p. 29–38, 2023.

APÊNDICE A – STRINGS DAS BASES DE BUSCA

Tabela A1 – String de busca Web of Science

String
TS = (((Demand Response) OR DR) AND (home OR residential OR domestic) AND ((Energy Management) OR (Energy Efficiency)) AND (scheduling OR shift* OR adjustment OR optimization) NOT (Industrial OR Industrials OR Industry OR Industries OR factory OR manufacturing)) Timespan: 2014–2024. Indexes: SCI-EXPANDED, CPCI-S, ESCI

Tabela A2 – String de busca Scopus

String
TITLE-ABS-KEY (((demand AND response) OR dr) AND (home OR residential OR domestic) AND ((energy AND management) OR (energy AND efficiency)) AND (scheduling OR shift* OR adjustment OR optimization) AND NOT (industrial OR industrials OR industry OR industries OR factory OR manufacturing)) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR,2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2023) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2024)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar"))

Tabela A3 – String de busca Engineering Village

String
2014–2024: (((Demand Response) OR DR) AND (home OR residential OR domestic) AND ((Energy Management) OR (Energy Efficiency)) AND (Scheduling OR shift* OR adjustment OR optimization) NOT (Industrial OR Industrials OR Industry OR Industries OR factory OR manufacturing)) WN KY)

Tabela A4 – String de busca IEEE Xplore

String
((Demand Response) OR DR) AND (home OR residential OR domestic) AND ((Energy Management) OR (Energy Efficiency)) AND (scheduling OR shift* OR adjustment OR optimization) Applied Filters:Conferences Journals & Magazines 2014–2024

APÊNDICE B – TABELAS DE RESULTADOS

Tabela B1 – Artigos selecionados por plataforma de busca

Motor de busca	ID	Quantidade
Web of Science	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29.	29
Scopus	30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74.	45
Engineering Village	75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84.	10
IEEE Xplore	85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113.	29

Tabela B2 – Artigos selecionados por classificação de PRDs

Programas	ID	Quantidade
Preço	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113	101
Incentivo	25, 26, 55, 68, 103	5
Preço e Incentivo	13, 18, 61, 62, 66, 81, 108	7

Tabela B3 – Artigos selecionados por tipo de PRDs

Programas	ID	Quantidade
DAP	4, 5, 23, 40, 41, 57, 76, 83, 87, 91, 97, 100, 105, 106, 111	15
DAP + IBR	38, 67	7
DAP, CPP	32, 35, 73	3
DAP, DLC	61	1
DAP, Preço fixo	39	1
Demand Limit (DL)	26, 55, 103	3
DLC	68	1
Outros	25	1
RTP	1, 7, 8, 15, 20, 27, 33, 36, 43, 47, 53 54, 60, 63, 64, 65, 69, 72, 75, 77, 78, 85, 86, 88, 95, 96, 98, 102, 113	29
RTP + IBR	27, 51	2
RTP, CPP	21	1
RTP, DAP	28	1
RTP, Emergency Load Curtailment	62	1

Tabela B3 – Artigos selecionados por tipo de PRDs (cont.)

Programas	ID	Quantidade
TOU	2, 6, 9, 10, 11, 16, 19, 24, 29, 30, 34, 45, 46, 50, 52, 59, 71, 74, 79, 82, 84, 89, 92, 93, 99, 101, 104, 107, 109	29
TOU + IBR	42, 47, 70	3
TOU, CPP	12, 90	2
TOU, DAP	80	1
TOU, DLC	81	1
TOU, Emergency Demand Response	66	1
TOU, Preços Dinâmicos	56	1
TOU, RTP	3, 22, 31, 37	4
TOU, RTP + Incentivos	108	1
TOU, RTP, Load Curtailment	13	1
TOU, RTP, CPP	14, 44, 112	3
TOU, RTP, DAP	49	1
TOU, RTP, Preço fixo	94	1
TOU, RTP, CPP, Interruptible Loads	18	1
TOU, RTP, DAP, CPP	58, 110	2

Tabela B4 – Artigos selecionados por tipo de função objetivo

Função Objetivo	ID	Quantidade
Mono-objetivo	1, 3, 4, 7, 8, 16, 17, 18, 19, 25, 26, 32, 34, 37, 41, 48, 52, 59, 62, 63, 65, 71, 72, 76, 78, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 91, 94, 96, 98, 102, 103, 106, 108, 111, 113	41
Multiobjetivo	2, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 73, 74, 75, 77, 79, 80, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 95, 97, 99, 100, 101, 104, 105, 107, 109, 110, 112	72

Tabela B5 – Artigos selecionados por tipo de experimentação

Experimentação	ID	Quantidade
Simulada	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113	104
Embarcada	2, 3, 26, 38, 61, 62, 67, 95, 103	9

Tabela B6 – Artigos selecionados por tipo de PRDs

ID	Algoritmo	ID	Algoritmo
110	Ant Colony Optimization (ACO) e Wind Driven Optimization (WDO)	35	Improved Hybrid Discrete PSO
5, 95, 96, 99, 50, 54, 103, 62, 68	Algoritmo proposto	31	Improved WOA
26	Binary Backtracking Search Algorithm (BBSA)	90	JAYA
88	Backtracking Search Optimization Algorithm (BSOA), Tabu BSO (TBSO) e Tabu Search (TS)	27	Manta Ray Foraging Optimization (MRFO), Long Term Memory MRFO, Hunter Prey Optimization (HPO), Gorilla Troops Optimizer (GTO) e Beluga Whale Optimization (BWO)
60	CP Problem (CPP)	71	Linear Programming (LP)
67	Constrained Particle Swarm Optimization (CPSO)	74	Load Power Control Algorithm (LPcon-a), LP Curtailment Algorithm (LP-cur-a) e LP Shifting Algorithm (LPshi-a)
102	Cuckoo Search (CS)	30	RL- Artificial Neural Network (RL-ANN)
40	Day-Ahead Grey Wolf modified Enhanced Differential Evolution (DA-GmEDE)	55	Lightning Search Algorithm-based Artificial Neural Network (LSA-ANN)
61	Discrete Elephant Herd Optimization (DEHO)	14	Multi-objective Binary Bird Swarm Optimization (MBBSO), MB Cuckoo Search Optimization, MB Binary Hybrid BSO and CSO (MBHBCO) e MBPSO.
15	Dragonfly algorithm	1, 2, 7, 9, 100, 107, 18, 22, 83, 28, 16, 37	Mixed Integer Linear Programming (MILP)
84	Deep Q-Network (DQN), Double DQN e Dueling DQN	76	MILP + Mixed Integer Non-Linear Programming (MINLP) + Binary Integer Programming Problem (BIPP)
13	Enhanced Leader Particle Swarm Optimization (ELPSO)	46, 10	MILP + Mixed Integer Quadratic Programming (MIQP)
8	Fuzzy C-Means (FCM)	45	MILP + Model Predictive Control (MPC)
63, 65	Fuzzy	64	MILP + MPC + Q-L RL
52	Fuzzy + PSO	72	MILP- based Supervised Learning, Multi-Agent Deep Deterministic Policy Gradient, Forecast-based MILP

Tabela B6 – Artigos selecionados por tipo de PRDs (cont.)

ID	Algoritmo	ID	Algoritmo
113	Fuzzy + Reinforcement Learning (RL)	105	MILP-Nondominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA II)
29	Genetic Algorithm (GA) + Particle Swarm Optimization (PSO)	17	MINL + ANN + PSO
41	GA, Approximate Dynamic Programming (ADP) e Standard Integer Branch and Bound Algorithm (SIBBA)	23	MINLP Nonlinear Branch and Bound Algorithm (MIN-LPNBBA)
93	GA, Bat Algorithm (BA) e Bat Genetic Algorithm (BGA)	12	Multiple Knapsack Problem Parallel (MKPP) e MKP Serial (MKPS)
101	GA, Biogeography-based optimization (BBO) e Genetic BBO (GBBO)	104	Multi-Objective Differential Evolution
75	GA, Binary PSO (BPSO)	42	Multi Objective Genetic Algorithm or Pareto optimization + Regression Based Constraint Filtration
73	GA, BPSO, Genetic Algorithm PSO (GAPSO), Dynamic Programming (DP)	77, 6, 47, 98	MPC
97	GA, BPSO, Genetic Binary PSO (GBPSO)	59	MetaRL, Actor-Critic, Trust Region Policy Optimization, Proximal Policy Optimization (PPO), Deep Deterministic Policy Gradient
53	GA, BPSO, Hybrid Genetic PSO (HGPO), WDO, ACO, Bacterial Foraging Algorithm (BFA)	34	Natural Aggregation Algorithm (NAA)
49	GA, BPSO, Wind Driven BFA (WBFA), Genetic WDO (GWDO) e GBPSO	33, 38, 24	NSGA-II
11	GA, BPSO, WDO	69	Optimal Stopping Rule + Teaching Learning-Based Optimization + GA + Firefly Algorithm
39, 43	GA, BPSO, WDO, BFA, Hybrid Genetic Particle WDO (HGPDO)	81	Prosumer Preference Based Segmented Distributed Alternating Direction Method of Multipliers (PPBSD-ADMM)
57	GA, BPSO, WDO, BFA, Hybrid PSO(HPSO)	85	Deep RL-PPO
87	GA, BPSO, WDO, BFA, PSO + BPSO	80	PSO
82	GA, DP	32	PSO + Gradient-Based Deterministic Algorithm (GBDA)

Tabela B6 – Artigos selecionados por tipo de PRDs (cont.)

ID	Algoritmo	ID	Algoritmo
92	GA, Flower Pollination Algorithm (FPA) e Genetic FPA (GFPA)	109	PSO + MILP
91	GA, Elephant Herd Optimization (EHO) e Genetic EHO (GEHO)	44	PSO, Artificial Bee Colony
20	GA, Grey Wolf Optimization (GWO) e Polar Bear Optimization (PBO)	106	PSO, Antlion Optimization, GWO, SSA
112	GA, Hybrid Bacterial Foraging Genetic Algorithm (HBG) e BFA	79	PSO, Bi-Level PSO (BLPSO)
66	GA, Improved PSO (IPSO), Simulated Annealing (SA)	108	PSO, GWO
86	GA, Multiconstrained Mixed Integer Problem	36	PSO, Improved Leader PSO, BA
78	GA, PSO, Crow Search Optimization Algorithm (CSOA), GWO, Earthworm Optimization (EWO)	51	PSO, Pigeon-Inspired Optimization
70	GA, PSO, Whale Optimization Algorithm (WOA) e Sine Cosine Algorithm (SCA)	48	Q-RL
111	GA, Search Economics for Home Appliances Scheduling (SEHAS) e ACO	4	Regression-Based Learning, Equivalent Thermal Parameters e Heuristic
58	GA, WDO, GWO, Salp Swarm Optimization (SSA)	56	Standard Deviation Biased Genetic Algorithm (SDBGGA)
25	Generative Adversarial Networks Q-Learning (GAN Q-L)	94	Stochastic Dynamic Optimization
21	Hybrid Grey Wolf Genetic Algorithm (HGWGA)	3	TLBO
19	Harmony Search Algorithm (HSA) + PSO	89	TS, BFA, BA, Hybrid Bacterial Foraging Tabu Search Algorithm.e Hybrid Bat Tabu Search Algorithm

Tabela B7 – Artigos selecionados por quantidade de residências

Residências	ID	Quantidade
Única	1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 65, 66, 67, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 109, 110, 111, 112, 113	84
Múltiplas	6, 8, 9, 15, 18, 21, 24, 25, 33, 44, 46, 47, 54, 56, 60, 64, 68, 69, 70, 71, 73, 79, 81, 82, 93, 99, 101, 107, 108,	29

Tabela B8 – Artigos selecionados por conter agregador de energia

Residências	ID	Quantidade
Não	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 66, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112	94
Sim	8, 10, 18, 21, 23, 39, 44, 47, 64, 65, 67, 68, 71, 79, 81, 83, 99, 105, 113	19

Tabela B9 – Artigos selecionados por fontes de geração e armazenamento de energia

ID	VE	Baterias	FV	Eólica	Biomassa	CC	Gerador	Quantidade
3, 4, 5, 10, 12, 13, 14, 19, 24, 25, 26, 33, 38, 40, 45, 46, 49, 52, 55, 56, 60, 67, 68, 69, 71, 73, 74, 76, 79, 80, 82, 85, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 101, 103, 108, 110, 111, 112, 113	-	-	-	-	-	-	-	47
8, 17, 31	✓	-	-	-	-	-	-	3
47, 51, 61, 100, 104	-	-	✓	-	-	-	-	5
1, 15, 63, 66	✓	-	✓	-	-	-	-	4
2, 6, 7, 9, 18, 20, 21, 28, 30, 34, 35, 36, 37, 48, 50, 53, 57, 59, 65, 72, 77, 78, 81, 83, 84, 87, 96, 98, 99, 102, 105	-	✓	✓	-	-	-	-	31

Tabela B9 – Artigos seleccionados por fontes de geração e armazenamento de energia (cont.)

ID	VE	Baterias	FV	Eólica	Biomassa	CC	Gerador	Quantidade
32	-	✓	-	-	-	✓	-	1
16, 41, 54, 62, 64, 70	✓	✓	✓	-	-	-	-	6
11, 27, 58, 75, 86, 88, 106, 109	-	✓	✓	✓	-	-	-	8
23	-	✓	✓	-	-	✓	-	1
42	-	✓	✓	-	-	-	✓	1
22	✓	✓	✓	✓	-	-	-	1
29	✓	✓	✓	-	-	-	✓	1
43	-	✓	✓	✓	✓	-	-	1
107	-	✓	✓	✓	-	-	✓	1
39	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	1
44	✓	-	✓	✓	-	✓	✓	1