



ALGORITMOS BIO-INSPIRADOS PARA OTIMIZAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE ENERGIA EM CASAS INTELIGENTES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Anna Julia de Santana Sobrinho¹ – ajs_sobrinho@hotmail.com

Frederico Galaxe Paes² – fpaes@iff.edu.br

¹ Instituto Federal Fluminense campus Campos Centro– Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

² Instituto Federal Fluminense campus Guarus – Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

Resumo. Com a evolução do conceito de redes inteligentes, diversos métodos para aumentar a eficiência energética e a resposta à demanda vem sendo desenvolvidos, dentre eles os sistemas de gerenciamento de energia residencial. Uma das abordagens para gerenciar de forma inteligente esses sistemas é a computação bio-inspirada. O objetivo deste estudo é realizar uma revisão sistemática sobre a utilização de algoritmos bio-inspirados na otimização do gerenciamento de energia em casas inteligentes para identificar as técnicas utilizadas e os modelos em que são aplicados. A busca de artigos foi realizada na base Scopus e foi adotada a metodologia PRISMA para selecionar os estudos mais aderentes ao tema. Foram identificados 50 relatos e após a aplicação dos critérios de seleção e elegibilidade foram selecionados 9 artigos. Concluiu-se que os modelos mais utilizados tem como principais objetivos a minimização do custo e da razão pico-média e maximização do conforto. As simulações consideram tarifas de energia variáveis no tempo e geralmente apresentam residências com diferentes tipos de dispositivos. Em relação as técnicas concluiu-se que há uma variedade de algoritmos utilizados para esse propósito e os híbridos tem um grande potencial. Outro fator observado foi que há uma compensação entre o conforto e o consumo.

Palavras-chave: Algoritmos Evolutivos, Inteligência de Enxame, HEMS, Smart Grid, Smart Home

1. INTRODUÇÃO

Com a evolução do conceito de redes inteligentes (*Smart Grids*) diversos métodos vêm sendo desenvolvidos para aumentar a eficiência energética e a resposta à demanda (DR do inglês *Demand Response*) é considerada a solução com maior custo-benefício para diminuir a curva de demanda quando o sistema está sob estresse. São considerados como DR qualquer procedimento aplicado para motivar mudanças nos hábitos dos consumidores em resposta a incentivos relacionados ao custo da energia (Vardakas *et al.*, 2015).

O *Home Energy Management System* (HEMS), sistema de gerenciamento de energia residencial, é uma ferramenta de DR que ajusta a demanda a fim de melhorar o consumo de energia e os hábitos de consumo da residência de acordo com o custo tarifário da eletricidade e o conforto do usuário. Esse sistema encontra o agendamento adequado dos dispositivos da casa utilizando um algoritmo e as abordagens mais utilizadas são a otimização matemática, buscas metaheurísticas e métodos heurísticos, sendo as duas últimas as mais utilizadas por requererem menos esforço computacional (Beaudin & Zareipour, 2015).

De acordo com Nguyen *et al.* (2020), o sistema de gerenciamento de energia inteligente é aplicado em casas, prédios ou redes inteligentes e pode incluir fontes de energia tradicionais e renováveis, além de ter diversos objetivos como a demanda de energia, o custo da eletricidade, a razão pico-média, o conforto do usuário, custos de operação e emissões de carbono. Para gerenciar de forma inteligente essas informações uma das abordagens é a utilização de computação bio-inspirada que são métodos baseados nos conceitos da evolução biológica da natureza para criação de técnicas novas e robustas.

Esses algoritmos podem ser do tipo Computação Evolutiva (EC do inglês *Evolutionary Computing*) que simulam conceitos evolutivos para resolver problemas de otimização ou do tipo Inteligência de Enxame (SI do inglês *Swarm Intelligence*) que se baseia no comportamento coletivo de diferentes espécies (formigas, abelhas, pássaros, entre outros) e formam um grupo de agentes com princípios básicos de interação. Diversos novos algoritmos bioinspirados vêm sendo publicados recentemente para resolver problemas relacionados aos HEMS e esses algoritmos também podem ser hibridizados para reduzir a complexidade e melhorar ainda mais as soluções (Nguyen *et al.*, 2020).

Os trabalhos nessa área de conhecimento buscam desenvolver as mais diversas técnicas de otimização bioinspirada para diferentes cenários de gerenciamento de carga residenciais. Com isso, torna-se necessário sistematizar essas diferentes técnicas e o modelo dos sistemas em que são aplicados.

Este estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática sobre a utilização da computação bio-inspirada na otimização do gerenciamento de energia em prédios e casas inteligentes identificando os modelos utilizados em cada trabalho, seus objetivos, restrições, simulações e algoritmos utilizados de forma a buscar um maior entendimento sobre como são aplicadas essas técnicas de otimização nesse tipo de problema.

2. METODOLOGIA

A seleção dos artigos desse trabalho foi realizada seguindo a metodologia PRISMA – *Prefered Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (Liberati *et al.*, 2009). A busca pelos artigos foi realizada na plataforma Scopus que contém cerca de 77 milhões de documentos e 16 milhões de autores sendo o maior banco de dados de resumos e citações da literatura revisada (Elsevier, 2020).

As palavras-chave utilizadas foram Otimização (*Optimization*), Algoritmos Bio-inspirados (*Bio-inspired Algorithm*), Gerenciamento de Energia (*Energy Management*) e Casa Inteligente (*Smart Home*). Seus tesauros foram definidos conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Termos utilizados na busca

Conceito	A	B	C	D
Palavras-chave	Otimização	Algoritmos Bio-inspirados	Gerenciamento de Energia	Casa Inteligente
Inglês	Optimization	Bio-inspired Algorithm	Energy Management	Smart Home
Tesauros	Optimal	Bio-inspired Computing	Energy Consumption Schedule	Smart House
	Optimizer	Natural Computing	Intelligent Energy System	Smart Building

	Minimization	Evolutionary Computing	Load Management	-
	Maximization	Evolutionary Algorithm	-	-
-		Swarm Algorithm	-	-
-		Swarm Intelligence	-	-

Com as palavras-chave e seus tesauros definidos foi realizado a busca na plataforma Scopus (Quadro 2). A pesquisa foi realizada em setembro de 2021 e não contém corte temporal.

Quadro 2 - Pesquisa realizada no Scopus

(TITLE-ABS-KEY		
(optim* OR minimization OR maximization)		# Tesauros de A
AND TITLE-ABS-KEY		
("evolutionary computing" OR "evolutionary algorithm" OR "natural computing" OR "bio-inspired computing" OR "swarm intelligence" OR "swarm algorithm")		# Tesauros de B
AND TITLE-ABS-KEY		
("energy management" OR "load management" OR "energy consumption schedule" OR "intelligent energy system")		# Tesauros de C
AND TITLE-ABS-KEY		
("smart building" OR "smart home" OR "smart house"))		# Tesauros de D

Foram considerados dois critérios de inclusão: utilização de algoritmos bio-inspirados como técnica de otimização; abordar o gerenciamento do consumo de energia de um prédio ou casa inteligente. Além disso, como critério de exclusão, foram considerados artigos de revisão de conferência por não apresentarem informações completas e artigos de revisão de literatura. Os trabalhos elegidos foram lidos por completo para realizar a revisão sendo descartados os que não estavam dentro dos critérios de inclusão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca resultou em 45 artigos que passaram por uma análise dos títulos e resumos a fim de verificar sua aderência ao tema, sendo que somente 26 estavam de acordo com os critérios e, desses, 14 foram elegidos para serem lidos por completo. Após a leitura completa dos textos foram incluídos 9 artigos. A Figura 1 apresenta a estratégia de busca e seleção utilizada.

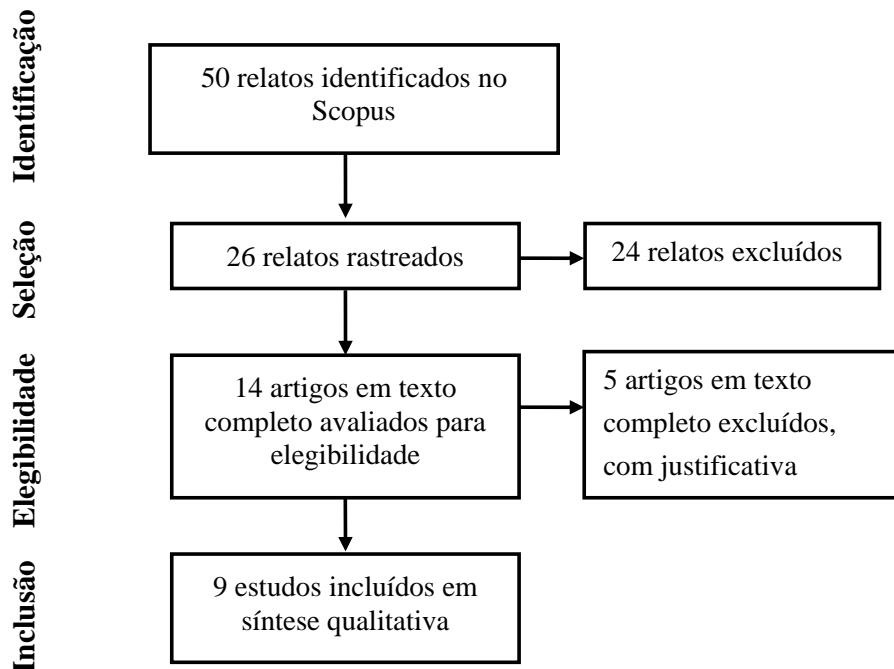


Figura 1 - Fluxograma de seleção de artigos

No Quadro 3 é apresentada uma síntese com os nove artigos selecionados, onde é possível constatar que nos últimos cinco anos tem crescido o número de publicações referente ao uso de algoritmos bio-inspirados em sistemas de gerenciamento de cargas em casas inteligentes, sendo 2018 o ano com mais publicações.

Quadro 3 - Relação dos trabalhos selecionados

Nº	Título	Autores	Ano	Veículo
1	An Intelligent Load Management System with Renewable Energy Integration for Smart Homes	Javaid <i>et al.</i>	2017	IEEE Access
2	A Hybrid PSO-DE Algorithm for Smart Home Energy Management	Huang <i>et al.</i>	2014	Lecture Notes in Computer Science
3	An Efficient Scheduling of Electrical Appliance in Micro Grid Based on Heuristic Techniques	Hussain <i>et al.</i>	2018	Advances in Intelligent Systems and Computing
4	Swarm Intelligence Based Home Energy Management Controller Under Dynamic Pricing Scheme	Ahmed <i>et al.</i>	2018	Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies
5	An approach towards efficient scheduling of home energy management system using backtracking search optimization and tabu search	Shafiq <i>et al.</i>	2018	Proceedings - 32nd IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops,

				WAINA 2018
6	Improving Energy Efficiency in Smart-Houses by Optimizing Electrical Loads Management	Cabrita <i>et al.</i>	2019	SyNERGY MED 2019 - 1st International Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area
7	Efficient Power Scheduling in Smart Homes using Meta Heuristic Hybrid Grey Wolf Differential Evolution Optimization Technique	Naz <i>et al.</i>	2018	Proceedings - International Conference on Advanced Information Networking and Applications, AINA 2018
8	Differential Evolution based Energy Management System for Zero Net Energy Building	Madathil <i>et al.</i>	2018	Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Technological Advancements in Power and Energy: Exploring Energy Solutions for an Intelligent Power Grid, TAP Energy 2017
9	Home Energy Management in Smart Grid using Evolutionary Algorithms	Saboor <i>et al.</i>	2018	Proceedings - International Conference on Advanced Information Networking and Applications, AINA 2018

3.1 Objetivos e simulações

Em Javaid *et al.* (2016), Hussain *et al.* (2018), Ahmed *et al.* (2018), Shafiq *et al.* (2018), Naz *et al.* (2018) e Saboor *et al.* (2018) os objetivos são a minimização do consumo de energia, a minimização da razão pico-média e a maximização do conforto que é o tempo de espera para ligar e desligar as cargas a partir dos horários definidos.

Foi identificado nesses estudos que as simulações geralmente consideram uma ou mais casas inteligentes ou um prédio inteligente que podem contar com fontes de energia renovável, baterias e geradores. Os dispositivos podem ser separados em cargas fixas (ou base ou inflexíveis) que não podem sofrer alterações, cargas interrompíveis (ou controladas) que podem ser interrompidas sem alterar o tempo de duração e cargas não-interrompíveis que uma vez acionados não podem ser interrompidos. Além dessas especificações todos os trabalhos utilizam tarifas de preço de energia variáveis no tempo.

Entre os estudos que apresentam objetivos um pouco diferentes estão Huang *et al.* (2014) que buscam não somente a minimização do custo com energia, mas também a minimização do consumo de gás pela unidade micro-CHP (*micro Combined Heat and Power*). A simulação conta com dispositivos elétricos fixos, dispositivos térmicos agendáveis, baterias e fonte de energia renovável. Com isso, também é acrescentado em suas restrições a temperatura do prédio e a água quente requerida de acordo com os dados de temperatura interna e externa para garantir um nível de conforto e as restrições de operação da unidade e da carga e descarga da bateria.

Cabrita *et al.* (2019) também tem alguns objetivos além da redução de custo que envolvem os parâmetros do algoritmo utilizado. Para isso realiza primeiro duas simulações, uma com 25 e outra com 50 dispositivos, sem restrição de tempo para encontrar os valores dos parâmetros do algoritmo que apresentam o melhor resultado. Em seguida, com esses

parâmetros são realizadas duas simulações, uma com 29 e outra com 54 dispositivos, com restrição de tempo para analisar a influência do número de cargas, tamanho da população e número de gerações.

Diferente dos demais que buscam o menor custo possível com energia, Madathil *et al.* (2017) tem como objetivo reduzir o consumo a zero a fim de diminuir as emissões de carbono e garantir a autonomia energética em um prédio. Para isso realiza a simulação em um prédio com nove dispositivos e fonte de energia renovável onde o somatório de cargas geradas e consumidas deve ser igual a zero.

3.2 Técnicas de otimização e visão geral

Javaid *et al.* (2016) utilizam as técnicas *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO), *Genetic Algorithm* (GA) e *Cuckoo Search* (CS) e os resultados mostram que todos os algoritmos apresentam uma redução considerável do custo de eletricidade e dos picos de potência, sendo que o CS apresenta o melhor resultado em comparação com o GA e o BPSO. Além disso, o estudo também analisa três casos: casas tradicionais sem sistema HEM, casas inteligentes e casas inteligentes com energia renovável e baterias. Os autores concluem que casas tradicionais tem um custo maior pela mesma energia utilizada em casas inteligentes, porém o nível de conforto também é maior e casas inteligentes com energia renovável tem o menor custo de eletricidade e o menor conforto.

Huang *et al.* (2014) propõem um algoritmo híbrido unindo o *Particle Swarm Optimization* (PSO) com o *Differential Evolution* (DE) formando o PSO-DE. O híbrido consegue atingir resultados ótimos dentro das restrições comprando o mínimo de energia durante os horários de pico e vendendo a energia excedente para a concessionária em horários fora de pico.

Hussain *et al.* (2018) compararam técnicas existentes como *Genetic Algorithm* (GA), *Teaching Learning Based Optimization* (TLBO) e *Enhanced Differential Evolution* (EDE) com seu novo algoritmo híbrido *Enhanced Differential Teaching Learning Algorithm* (EDTLA). Todos os algoritmos têm capacidade de encontrar o objetivo em cenários similares e as simulações provam a aplicabilidade e validação do novo algoritmo proposto em termos de redução de custo e da razão pico-média, mas não tem melhores resultados em relação a maximização de conforto.

Em Ahmed *et al.* (2018) foram utilizados os algoritmos já existentes BPSO e *Firefly Algorithm* (FA) e como resultado o FA tem a melhor performance em relação a minimização do custo e da razão pico-média enquanto maximiza o conforto do usuário.

Shafiq *et al.* (2018) utilizam as técnicas *Backtracking Search Optimization Algorithm* (BSOA), *Tabu Search* (TS) e o híbrido *Tabu Backtracking Search Optimization* (TBSO). Todas as técnicas apresentam uma considerável redução do custo e da razão pico-média. O TBSO apresenta a melhor performance em relação ao custo, porém a pior em relação ao conforto. O melhor algoritmo para obter um equilíbrio entre redução de custo e maximização de conforto é o BSOA.

Diferente dos demais artigos, Cabrita *et al.* (2019) não propõem um novo algoritmo e nem compara as técnicas entre si, mas explora os parâmetros e a estrutura do GA para apresentar a importância do processo de sintonização paramétrica das heurísticas, principalmente quando há uma grande quantidade de restrições no sistema. Nas simulações fica claro o quanto esse fator é decisivo na performance final do algoritmo, pois em alguns casos as combinações testadas tiveram um resultado inaceitável. Os autores também concluem que no GA a complexidade computacional é pouco afetada pelo número de cargas e depende mais do número de gerações e tamanho da população.

Naz *et al.* (2018) compararam as técnicas EDE e *Gray Wolf Optimization* (GWO) com o híbrido proposto por eles chamado *Hybrid Gray Wolf Diferencial Evolution* (HGWDE). Os resultados mostram que o HGWDE supera as outras técnicas em todos os aspectos menos no tempo de espera. Com isso, novamente é visto que há uma compensação entre custo e conforto.

Madathil *et al.* (2017) utilizam o algoritmo DE para dois valores diferentes no parâmetro taxa de cruzamento e com a alteração encontra o melhor o resultado que mantém um consumo zero no prédio.

Em Saboor *et al.* (2018) são comparadas as técnicas GA, *Biogeography-Based Optimization* (BBO) e o híbrido proposto *Genetic Biogeography-Based Optimization* (GBBO). O BBO encontra um melhor resultado em relação ao conforto e tem uma redução da razão pico-média e o GBBO proposto supera as outras técnicas em relação a redução do custo e a razão pico-média.

Como visto em Nguyen *et al.* (2020) há uma grande variedade de algoritmos bio-inspirados sendo utilizados em sistemas HEMS e os algoritmos híbridos são a maioria nesse estudo e que apresentam o melhor resultado em relação a minimização do custo da energia.

Nos estudos que levam em conta o conforto do usuário é visto pelos autores que há uma compensação entre o conforto e o consumo, pois quanto menor o custo com eletricidade menor o nível de conforto do usuário. Com isso, o melhor algoritmo acaba não sendo o que apresenta como resultado o menor custo de energia e sim o que apresenta um equilíbrio entre o consumo e conforto do usuário.

Seguindo a ordem de identificação dos artigos no Quadro 3 foi elaborado o Quadro 4 que apresenta uma visão geral dos fatores analisados: algoritmos utilizados, os objetivos de cada estudo, as simulações realizadas, detalhes considerados como restrições e a tarifa de energia utilizada.

Quadro 4 - Relação dos fatores analisados

Nº	Algoritmos	Objetivos	Simulação	Detalhes
1	BPSO GA CS	Minimizar o consumo; Minimizar a razão pico-média; Maximização do conforto.	Casas tradicionais sem HEM; Casas inteligentes; Casas inteligentes com energia renovável e baterias; 6 dispositivos.	Carga base; Carga interrompível; Tempo de operação dos dispositivos.
2	PSO-DE	Minimizar o custo de energia; Minimizar o custo de gás consumido pela unidade micro-CHP; Não violar as restrições.	Uma casa inteligente; Unidade micro-CHP; Baterias; Fonte de Energia Renovável.	Dispositivos elétricos fixos; Dispositivos térmicos agendáveis; Restrições de carga e descarga da bateria; Restrições de água quente e temperatura do prédio requerida; Restrições de operação da unidade micro-CHP.
3	GA TLBO EDE EDTLA	Minimizar o consumo; Minimizar a razão pico-média;	1 prédio inteligente com 30 casas; 12 dispositivos inteligentes em cada	Horário mínimo e máximo para inicializar e finalizar a operação de cada dispositivo;

		Maximização do conforto.	casa.	Dispositivos inflexíveis; Dispositivos flexíveis.
4	BPSO FA	Minimizar o consumo; Minimizar a razão pico-média; Maximização do conforto.	1 casa inteligente; 3 dispositivos individualmente; Cada dispositivo é testado para 2 níveis de prioridade diferente.	Cada dispositivo tem uma flexibilidade diferente em relação ao escalonamento.
5	BSOA TS TBSO	Minimizar o consumo; Minimizar a razão pico-média; Maximização do conforto.	1 casa inteligente com 9 dispositivos; Fontes de energia renovável; Baterias e geradores.	Dispositivos fixos; Dispositivos deslocáveis.
6	GA	Minimizar o consumo; Redução do pico de carga; Encontrar os parâmetros que apresentam o melhor resultado; Analizar a influência de cada parâmetro no resultado.	Fonte de energia renovável; Agendamento sem restrição de tempo com diferentes parâmetros para 25 e 50 dispositivos; Agendamento com restrição de tempo e com o melhor parâmetro para 29 e 54 dispositivos.	Restrição de potência máxima; Restrição do período em que cada dispositivo pode ser alocado.
7	HGWDE	Minimizar o consumo; Minimizar a razão pico-média; Maximização do conforto.	1 casa inteligente; 17 dispositivos.	Dispositivos deslocáveis não-interrompíveis; Dispositivos controlados; Dispositivos não deslocáveis.
8	DE	Reducir o consumo a zero; Reducir emissões de carbono.	1 prédio; 9 dispositivos; Fonte de energia renovável; Agendamento sem restrições; Agendamento com restrições e alteração da taxa de cruzamento do DE.	Somatório de cargas geradas e consumidas igual a zero; Tempo de operação da máquina de lavar-roupas e da lava-louças.
9	GA BBO GBBO	Minimizar o consumo; Minimizar a razão pico-média; Maximização do	8 dispositivos por casa; Agendamento de uma casa em diferentes intervalos de tempo;	Dispositivos base; Dispositivos interrompíveis; Dispositivos não-interrompíveis.

		conforto.	Agendamento de 10, 30 e 50 casas pelo mesmo intervalo de tempo.	
--	--	-----------	---	--

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática sobre a utilização de computação bio-inspiradas na otimização do gerenciamento de energia em residências inteligentes a fim de identificar como esses algoritmos são aplicados em HEMS e os diferentes modelos de sistema em que são utilizadas.

Como resultado foram encontrados 50 relatos na base Scopus e desses foram selecionados 9 artigos mais aderentes ao tema.

Em relação aos modelos dos sistemas foi visto que a maior parte dos estudos tem como objetivo a minimização do custo com energia e da razão pico-média e a maximização do conforto. As simulações consideram tarifas de energia variáveis no tempo e em geral apresentam uma ou mais casas inteligentes ou um prédio inteligente que contém dispositivos classificados em fixos, interrompíveis e não interrompíveis.

Em relação as técnicas de otimização observou-se uma variedade de algoritmos e um grande potencial dos algoritmos híbridos que são mais recentes e vem crescendo nessa área.

Outro fator observado foi que há uma compensação entre o conforto e o consumo e com isso dependendo do foco do trabalho o melhor algoritmo pode não ser o que apresenta o menor custo com energia e sim o que encontra um equilíbrio entre conforto e consumo.

Para trabalho futuros, recomenda-se a expansão da busca dessa revisão para outras bases de dados além do Scopus, além da inclusão de outros conceitos ou tesouros para ampliar o estudo para o gerenciamento de cargas industriais e comerciais.

REFERÊNCIAS

- Ahmed, A., Rahim, M. H., Feroze, F., Zafar, A., Fatima, I., Aslam, S., e Javaid, N. (2018), "Swarm Intelligence Based Home Energy Management Controller Under Dynamic Pricing Scheme". In L. Barolli, F. Xhafa, & J. Conesa (Orgs.), *Advances on Broad-Band Wireless Computing, Communication and Applications* (Vol. 12, p. 256–266). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69811-3_23
- Beaudin, M., e Zareipour, H. (2015), "Home energy management systems: A review of modelling and complexity". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 318–335. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.046>
- Cabrita, C. L., Monteiro, J. M., e S. Cardoso, P. J. (2019), "Improving Energy Efficiency in Smart-Houses by Optimizing Electrical Loads Management". *2019 1st International Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area (SyNERGY MED)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/SyNERGY-MED.2019.8764140>
- Elsevier. (2020), *Scopus—Content Coverage Guide*. <https://www.elsevier.com/?a=69451>
- Huang, Y., Wang, L., e Wu, Q. (2014), "A Hybrid PSO-DE Algorithm for Smart Home Energy Management". In Y. Tan, Y. Shi, & C. A. C. Coello (Orgs.), *Advances in Swarm Intelligence* (Vol. 8795, p. 292–300). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11897-0_35
- Hussain, S. M., Zafar, A., Khalid, R., Abid, S., Qasim, U., Khan, Z. A., e Javaid, N. (2018), "An Efficient Scheduling of Electrical Appliance in Micro Grid Based on Heuristic Techniques". In L. Barolli & O. Terzo (Orgs.), *Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems* (Vol. 611, p. 164–173). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61566-0_15
- Javaid, N., Ullah, I., Akbar, M., Iqbal, Z., Khan, F. A., Alrajeh, N., e Alabed, M. S. (2016), "An Intelligent Load Management System with Renewable Energy Integration for Smart Homes". *IEEE Access*, 14.
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and

- Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *PLOS Medicine*, 6(7), e1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
- Madathil, D., Pandi, V. R., Ilango, K., e Nair, M. G. (2017), "Differential evolution based energy management system for zero net energy building". *2017 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/TAPENERGY.2017.8397310>
- Naz, M., Javaid, N., Latif, U., Qureshi, T. N., Naz, A., e Khan, Z. A. (2018), "Efficient Power Scheduling in Smart Homes Using Meta Heuristic Hybrid Grey Wolf Differential Evolution Optimization Technique". *2018 IEEE 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, 636–643. <https://doi.org/10.1109/AINA.2018.00098>
- Nguyen, T.-H., Nguyen, L. V., Jung, J. J., Agbehadji, I. E., Frimpong, S. O., e Millham, R. C. (2020), "Bio-Inspired Approaches for Smart Energy Management: State of the Art and Challenges". *Sustainability*, 12(20), 8495. <https://doi.org/10.3390/su12208495>
- Saboor, A., Javaid, N., Iqbal, Z., Abbas, Z., Khan, A. J., Rashid, S., e Awais, M. (2018), "Home Energy Management in Smart Grid Using Evolutionary Algorithms". *2018 IEEE 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, 1070–1080. <https://doi.org/10.1109/AINA.2018.00154>
- Shafiq, S., Asif, S., Fatima, I., Yousaf, K., Safat, W., e Javaid, N. (2018), "An Approach Towards Efficient Scheduling of Home Energy Management System Using Backtracking Search Optimization and Tabu Search". *2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*, 226–231. <https://doi.org/10.1109/WAINA.2018.00091>
- Vardakas, J. S., Zorba, N., e Verikoukis, C. V. (2015), "A Survey on Demand Response Programs in Smart Grids: Pricing Methods and Optimization Algorithms". *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 17(1), 152–178. Scopus. <https://doi.org/10.1109/COMST.2014.2341586>

BIO-INSPIRED ALGORITHMS FOR ENERGY MANAGEMENT OPTIMIZATION IN SMART HOMES: A SYSTEMATIC REVIEW

Abstract. With the smart grids concept evolution, several methods to increase energy efficiency and response demand have been developed, including home energy management systems. One of the approaches to intelligently managing these systems is bio-inspired computing. The aim of this study is to carry out a systematic review on bio-inspired optimization algorithms in smart homes energy management to identify the techniques used and the models in which they are applied. The search for articles was carried out in the Scopus database and the PRISMA methodology was adopted to select the studies that most adhered to the topic. Fifty reports were identified and after applying the selection and eligibility criteria, nine articles were selected. It was concluded that the most used models have as main objectives the minimization of the cost and the peak to average ratio and the maximization of comfort. The simulations consider time-varying energy tariffs and typically presents homes with different types of devices. Regarding the techniques, it was concluded that there is a variety of algorithms used for this purpose and hybrids have a great potential. Another factor observed was that there is a trade-off between comfort and consumption.

Keywords: Evolutionary Algorithms, Swarm Intelligence, HEMS, Smart Grid, Smart Home