



# EVOLUÇÃO DA PESQUISA EM FLOW SHOP SCHEDULING PARA MANUFATURA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE 2019-2025

Marta Ferreira de Freitas<sup>1</sup>, Cayllane Nathalia Silva Simão<sup>2</sup>, Paloma dos Santos Alves Nunes<sup>3</sup>, Yuri Laio Teixeira Veras Silva<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Acadêmica do Curso de Engenharia de Produção, Campus Sumé-PB, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Bolsista CNPq/PIBIC. martamff12@gmail.com

<sup>2</sup>Acadêmica do Curso de Engenharia de Produção, Campus Sumé-PB, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. ncayllane@gmail.com

<sup>3</sup>Acadêmica do Curso de Engenharia de Produção, Campus Sumé-PB, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. pnunes.pn123@gmail.com

<sup>4</sup>Orientador, Doutor, Unidade acadêmica de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. yurilaio@gmail.com

## RESUMO

O problema de *Flow Shop Scheduling* (FSS) tem sido amplamente investigado por sua relevância em ambientes produtivos industriais, especialmente naqueles que exigem decisões eficientes de sequenciamento. Este artigo tem como objetivo mapear a evolução da pesquisa em FSS entre 2019 e 2025, por meio de uma revisão sistemática da literatura e análise bibliométrica. Foram inicialmente selecionados 1.530 trabalhos em três bases de dados científicas. Após filtragens por critérios de escopo e qualidade, 37 estudos foram considerados para análise. Os resultados revelam tendências de crescimento das pesquisas, destaque de países como China, e predominância de objetivos como minimização do makespan e aplicação de metaheurísticas como algoritmos genéticos. O estudo contribui para identificar lacunas e direcionar futuras investigações em ambientes produtivos cada vez mais complexos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise Bibliométrica; Heurísticas; Metaheurísticas; Otimização de Produção; Revisão Sistemática da Literatura.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a competitividade entre organizações de diferentes segmentos tem se intensificado de forma significativa. Esse cenário decorre de diversos elementos, como a globalização, que ampliou o alcance dos mercados e elevou os níveis de concorrência, e os avanços tecnológicos, que permitiram tanto a criação de produtos e serviços inovadores quanto a melhoria dos processos de produção (Baumann, 2022). Tais mudanças exigem das empresas maior eficiência operacional e estratégias mais robustas de gestão.

Nesse contexto, um dos desafios mais recorrentes no planejamento de sistemas produtivos é o problema de programação do tipo *flow shop*, reconhecido como uma das formas mais relevantes de sequenciamento, devido à sua ampla aplicabilidade em ambientes industriais reais (Abdelbasset et al., 2018). A principal dificuldade em encontrar soluções eficazes para esse tipo de problema está na sua complexidade combinatória, que envolve um número exponencial de possibilidades de ordenação (Quadras, 2021).

Para lidar com essa complexidade, diversas abordagens computacionais têm sido aplicadas, com destaque para métodos heurísticos e metaheurísticos. Essas técnicas vêm ganhando relevância por sua capacidade de gerar boas soluções em tempo viável, mesmo diante de problemas de grande escala e múltiplas restrições, como é o caso do sequenciamento em ambientes *flow shop* (Zhang et al., 2025).

Diante disso, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura, com análise bibliométrica, a fim de mapear a evolução das pesquisas relacionadas ao problema de *Flow Shop Scheduling* (FSS) com o uso de heurísticas e metaheurísticas de otimização no período de 2019 a 2025. A proposta é contribuir para



fundamentar futuras investigações e apoiar o desenvolvimento de soluções mais eficazes no campo da otimização da produção.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O método científico adotado neste estudo é a Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Segundo Brizola e Fantin (2016) a revisão da literatura tem papel fundamental no processo de pesquisa, pois contribui para que o pesquisador delimita com mais precisão o foco do seu estudo, além de proporcionar uma visão crítica sobre as abordagens já existentes e fundamentar teoricamente a investigação proposta.

Para garantir rigor e transparência na condução da revisão, foi adotado o protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), conforme estabelecido por Page et al. (2021). O PRISMA orienta os pesquisadores quanto à condução e apresentação de revisões sistemáticas, com um *checklist* composto por 27 itens e um fluxograma dividido em três etapas principais: identificação, triagem e inclusão.

Na etapa de identificação, foram utilizadas expressões de busca que combinavam os termos “*Flow Shop Scheduling*”, “*Flow shop Optimization*”, “*Metaheuristic*”, “*Heuristic*” e “*Algorithm*”, aplicados aos campos de título, resumo e palavras-chave. Para ampliar a cobertura temática, também foram incluídas variações como “*Scheduling Problem*”.

As bases de dados selecionadas para esta pesquisa foram: *Scopus*, *Web of Science* e *ScienceDirect*, reconhecidas por sua abrangência e qualidade acadêmica. A busca inicial resultou em 1.530 trabalhos. Após a remoção de duplicatas e a aplicação dos critérios de inclusão (como artigos publicados entre 2019 e 2025, em inglês, com texto completo disponível, voltados ao problema de *Flow Shop Scheduling* em ambientes de manufatura) e critérios de exclusão (como trabalhos puramente teóricos sem aplicação prática, artigos com foco em problemas não relacionados ao FSS, e publicações que não utilizavam abordagens computacionais), restaram 194 artigos para triagem.

Na etapa de triagem, foram excluídos artigos não disponíveis integralmente ou escritos em idiomas distintos do inglês. Restaram 172 artigos, os quais passaram por leitura criteriosa de títulos, resumos e palavras-chave. Após essa filtragem, 135 artigos foram excluídos por não se alinharem ao escopo do estudo. Os demais passaram por leitura integral, resultando em 37 artigos incluídos na análise final.

Com os artigos selecionados, foi realizada uma análise bibliométrica, extraindo-se informações como ano de publicação, países dos autores, tipos de problemas abordados, objetivos de otimização e métodos de solução utilizados. Adicionalmente, utilizou-se o *software Excel* para gerar visualizações da evolução temporal das publicações, colaboração entre países, análise entre objetivos de otimização e análise dos objetivos e metaheurísticas utilizadas.

Essa abordagem metodológica permitiu construir uma visão abrangente da evolução das pesquisas sobre *Flow Shop Scheduling* em ambientes de manufatura, contribuindo para identificar tendências, lacunas e oportunidades para novos estudos.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 TRABALHOS RELACIONADOS

O problema de *Flow Shop Scheduling* (FSS) tem sido amplamente estudado na literatura devido à sua relevância em ambientes industriais que envolvem produção sequencial. Diferentes abordagens foram desenvolvidas para lidar com as complexidades



desse problema, desde métodos exatos, até heurísticas e metaheurísticas. Nesta seção, serão apresentados trabalhos relevantes que abordam a otimização do FSS, em estratégias aplicadas a ambientes com múltiplas máquinas.

### 3.1.1 Heurísticas Baseadas Em Busca Local

Entre as abordagens baseadas em busca local, destaca-se inicialmente o trabalho de Alabaş Uslu et al. (2019), que propuseram o algoritmo MSALS (*Modified Self-Adaptive Local Search*) para um problema biobjetivo de *permutation flow shop*, visando minimizar o *makespan* e o *total flow time*. No mesmo ano, Öztop et al. (2019) investigaram diferentes variantes do *Iterated Greedy* (IG) para o *hybrid flow shop*, com foco na minimização do tempo total de fluxo, obtendo bons resultados em *benchmarks* padrão.

Posteriormente, Fathollahi-Fard et al. (2024) aplicaram o ALNS (*Adaptive Large Neighborhood Search*) em um cenário distribuído e sustentável de *permutation flow shop*, demonstrando sua eficácia na minimização do *makespan* em um ambiente fictício de produção.

Wang e Wang (2025) desenvolveram o *Memory and Learning Iterated Greedy Algorithm* (MLIGA), uma versão do *Iterated Greedy* com memória e aprendizado, aplicada ao problema *distributed permutation flow shop*, visando reduzir a *tardiness* total, com testes realizados em 720 instâncias.

### 3.1.2 Heurísticas Baseadas Em Busca Populacional

Entre as abordagens populacionais aplicadas ao problema de FSS, destaca-se o trabalho de Cui, Li e Gao (2023) desenvolveram o *Improved Multi-Population Genetic Algorithm* (IMPGA), um algoritmo genético com múltiplas populações e inserção gulosa de tarefas, voltado para ambientes distribuídos e heterogêneos, buscando minimizar o *makespan* em uma fábrica de filmes de poliéster. No mesmo ano, Huang et al. (2023) propuseram o *Competitive and Cooperative Strength Pareto Evolutionary Algorithm* (CCSPEA), um algoritmo baseado em cooperação e competição, voltado à minimização simultânea do *makespan* e do consumo energético em ambientes distribuídos heterogêneos.

Jiang e Wang (2019) e Luo et al. (2023) avançaram com versões melhoradas do *Multi-Objective Evolutionary Algorithm based on Decomposition* (MOEA/D), aplicadas a problemas com *setup* dependente de sequência, transporte e múltiplos objetivos. Sun et al. (2024) aplicaram uma versão estendida do *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II* (INSGA-II), combinando heurísticas construtivas, a um cenário com bloqueios e múltiplas fábricas heterogêneas no setor farmacêutico.

Wang e Han (2025) propuseram um algoritmo memético baseado em aprendizado *Learning-based Memetic Algorithm* (LMA), considerando a manutenção preventiva em ambientes energeticamente eficientes. Já Wang et al. (2025) desenvolveram o *Dynamic Artificial Bee Colony* (DABC), uma versão dinâmica do algoritmo das abelhas artificiais, aplicada a ambientes *fuzzy* com processamento em lote.

Ainda em 2023, Wang et al. introduziram o *Extended NSGA-II* (ENSGA-II) para um problema *fuzzy* com velocidade de máquina variável, enquanto Wang et al. (2020) utilizaram o *Improved Migrating Birds Optimization* (IMBO) para lidar com *lot-streaming* em *flow shops* híbridos. Wang et al. (2024) também propuseram o *Cooperative Adaptive Genetic Algorithm* (CAGA), um algoritmo genético adaptativo e cooperativo voltado à minimização do tempo total ponderado de conclusão com opção de terceirização.



Além desses, Geng e Li (2023) apresentaram o *Improved Hyperplane Assisted Evolutionary Algorithm* (IhpaEA), voltado para a minimização do *makespan* e do consumo total de energia em sistemas de fabricação de vidro, destacando-se por sua aplicação a um cenário industrial realista e altamente especializado.

### 3.1.3 Abordagens Híbridas Entre Heurísticas

Diversos trabalhos recentes propuseram heurísticas híbridas que combinam estratégias para lidar com problemas complexos de agendamento em ambientes *flow shop*, frequentemente com múltiplos objetivos e restrições realistas.

Ding et al. (2021) aplicaram um HPSO (*Particle Swarm Optimization* híbrido) ao agendamento em *flexible flow shops* com máquinas paralelas, visando minimizar atrasos e o custo de energia elétrica. Geng e Ye (2021) propuseram um algoritmo memético para ambientes reentrantes e distribuídos com tarifas de energia variáveis, focando na redução do *makespan* e do consumo energético.

Guo et al. (2022) integraram um algoritmo genético híbrido com busca local e estratégias de economia de energia, destacando-se pela modelagem dos diferentes estados operacionais das máquinas. Han et al. (2019) desenvolveram uma abordagem evolutiva multiobjetivo com inicialização via *Vise NEH* (vNEH) e operadores especializados, aplicada a ambientes com *lot-streaming*, bloqueios e falhas.

He et al. (2024) introduziram o *Iterative Construction-Local Search-Reconstruction Algorithm* (ICLSRA), um algoritmo baseado em construção iterativa, busca local e reconstrução, voltado a ambientes reentrantes e heterogêneos. Huang et al. (2019) utilizaram o *Hybrid Crow Search Algorithm* (HCSA), combinando CSA com outras estratégias, testado em *benchmarks*.

Lei et al. (2020) propuseram um algoritmo memético com cálculo dinâmico de tempo de espera, voltado a sistemas *flexíveis com transporte variável*. Lu et al. (2022; 2024) investigaram o uso de algoritmos híbridos como IG, *Artificial Bee Colony* (ABC), *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Ant Colony Optimization* (ACO) e até *Q-learning* para *distributed hybrid flow shops*, incluindo cenários com sublotes consistentes.

Lv e Wang (2024) combinaram algoritmo genético e *simulated annealing*, considerando consumo de pico, aprendizado e deterioração. No Brasil, Quadras et al. (2022) integraram algoritmos genéticos com simulação de eventos discretos, aplicados a uma fábrica de motores elétricos.

Outras abordagens incluem: Ribas et al. (2019), com IG e *Variable Neighbourhood* para minimizar *tardiness* em *parallel blocking flow shops*; Rojas-Santiago et al. (2020), com ACO e busca local 2-opt/3-opt para ambientes com *setup* dependente de sequência; Song et al. (2023), com um algoritmo memético baseado em hiper-heurísticas para problemas de montagem distribuída; Tao et al. (2024), com um IG combinado com aprendizado por reforço *Proximal Policy Optimization* (PPO) para ambientes com *job merging*.

Zhang et al. (2021) propuseram abordagens híbridas baseadas em PSO, *Q-learning* e *Whale Swarm Algorithm*, voltadas para ambientes com *buffers* limitados e *jobs* com deterioração. Teng et al. (2024) introduziram um algoritmo memético coevolutivo melhorado, enquanto Wang e Wang (2021) apresentaram o *Bi-Population Cooperative Memetic Algorithm* (BCMA), uma versão cooperativa com múltiplas populações. Zheng et al. (2024) contribuíram com variantes como o GVNSA (GA-VNS-SA) e o CAGA, voltadas a ambientes com *buffers* limitados, *jobs* reentrantes e *setups* dependentes da sequência.

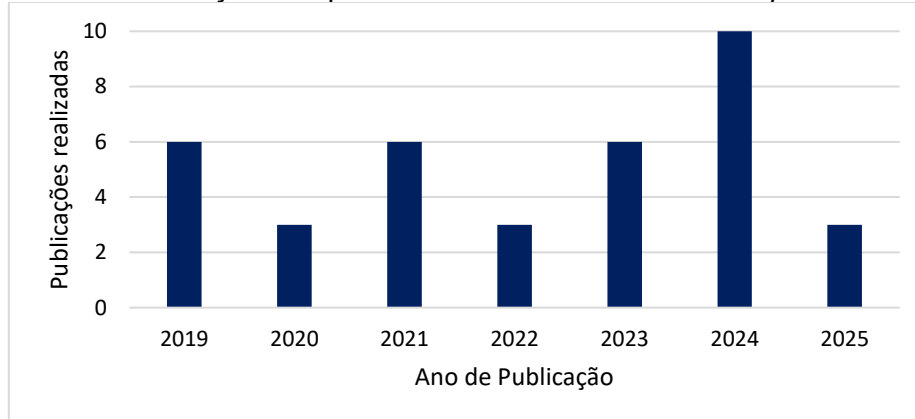


## 3.2 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

### 3.2.1 Análise Gráfica da Evolução Temporal das Publicações

Para entender a evolução das pesquisas sobre *flow shop scheduling* e o uso de metaheurísticas, foi realizada uma análise da distribuição temporal dos trabalhos revisados. O Gráfico 1 apresenta a quantidade de publicações por ano no período de 2019 a 2025.

**Gráfico 1:** Evolução Temporal dos estudos sobre *Flow Shop Scheduling*



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Observa-se que o número de publicações variou ao longo dos anos, com alguns períodos de crescimento e outros de relativa estabilidade. A partir de 2022, a produção acadêmica na área mostrou um crescimento gradual, atingindo pico em 2024 que registrou o maior número de publicações (10 trabalhos), indicando um aumento significativo no interesse pela temática. Esse crescimento pode estar associado a avanços na aplicação de metaheurísticas, no desenvolvimento de modelos mais robustos para problemas de *flow shop*, e na crescente aplicação dessas técnicas em setores industriais.

Já em 2025, os números preliminares indicam uma redução, mas isso pode ser justificado pelo fato de que o levantamento foi realizado ainda no início do ano, e novas publicações podem surgir ao longo dos meses.

### 3.2.2 Análise da Contribuição dos Países na Produção Científica

Para compreender a distribuição geográfica da produção científica sobre o problema de *Flow Shop Scheduling* no período analisado, foi realizada uma análise da origem dos autores dos trabalhos selecionados. Os resultados são apresentados na Tabela 1, que destaca tanto as contribuições individuais por país quanto às contribuições totais, que também considera o fato de que alguns trabalhos possuem colaborações de autores de diferentes nações.

**Tabela 1:** Análise da contribuição dos países na produção científica

País dos autores	Contribuições solo	Contribuições totais
China	27	33
Brasil	1	1
Canadá	1	1
Indonésia	1	1
Alemanha	1	1



País dos autores	Contribuições solo	Contribuições totais
Reino Unido	1	1
Arábia Saudita	1	1
Espanha	1	1
EUA	1	1
Turquia	1	3
Polônia	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Observa-se que a China se destaca de forma significativa, com 27 publicações solo e um total de 33 contribuições, considerando também as colaborações com autores de outros países. Esse protagonismo evidencia o forte investimento chinês em tecnologias de otimização e manufatura inteligente.

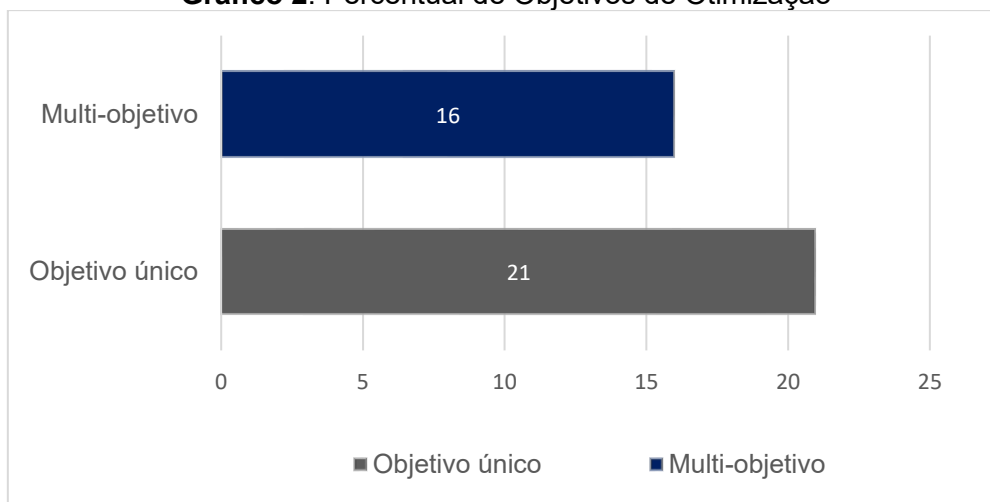
Países como Turquia, Brasil, Canadá, Alemanha, Espanha, Reino Unido, Arábia Saudita, Indonésia, Polônia e Estados Unidos apresentaram contribuições, ainda que em menor escala. A Turquia, por exemplo, esteve presente em três estudos, sendo dois em parceria com a China, destacando a existência de colaborações internacionais relevantes, como os trabalhos conjuntos entre China e Canadá, China e Alemanha, China e Reino Unido, além de uma cooperação multilateral envolvendo China, Turquia, Arábia Saudita e Polônia, o que evidencia uma crescente internacionalização das pesquisas na área.

### 3.2.3 Análise Gráfica dos Objetivos de Otimização

Nesta seção, é realizada uma análise detalhada das abordagens de objetivos presentes nos estudos revisados. Para isso, foram classificados os trabalhos em dois grupos principais: único objetivo e multiobjetivo. A análise mostra a prevalência de uma abordagem sobre a outra e como as diferentes combinações de objetivos são utilizadas para resolver esses problemas.

De acordo com os dados, dos 37 artigos analisados, 21 trabalhos focam em um único objetivo, enquanto 16 abordam múltiplos objetivos. Essa divisão é ilustrada no Gráfico 2, que destaca a proporção entre os dois tipos de abordagem.

**Gráfico 2:** Percentual de Objetivos de Otimização



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)



O objetivo dessa análise é compreender quais critérios de otimização são mais explorados na literatura e identificar possíveis lacunas que possam direcionar novas abordagens e contribuições para a área.

O Gráfico 3 ilustra a frequência com que diferentes combinações de objetivos são investigadas nos estudos analisados.

**Gráfico 3: Objetivos de Otimização**



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Observa-se que a minimização do *makespan* é o critério mais recorrente, aparecendo isoladamente ou em combinação com outras métricas. A segunda abordagem mais frequente envolve a minimização conjunta do *makespan* e do consumo de energia, com 8 ocorrências, evidenciando a preocupação crescente com a eficiência energética nos processos produtivos.

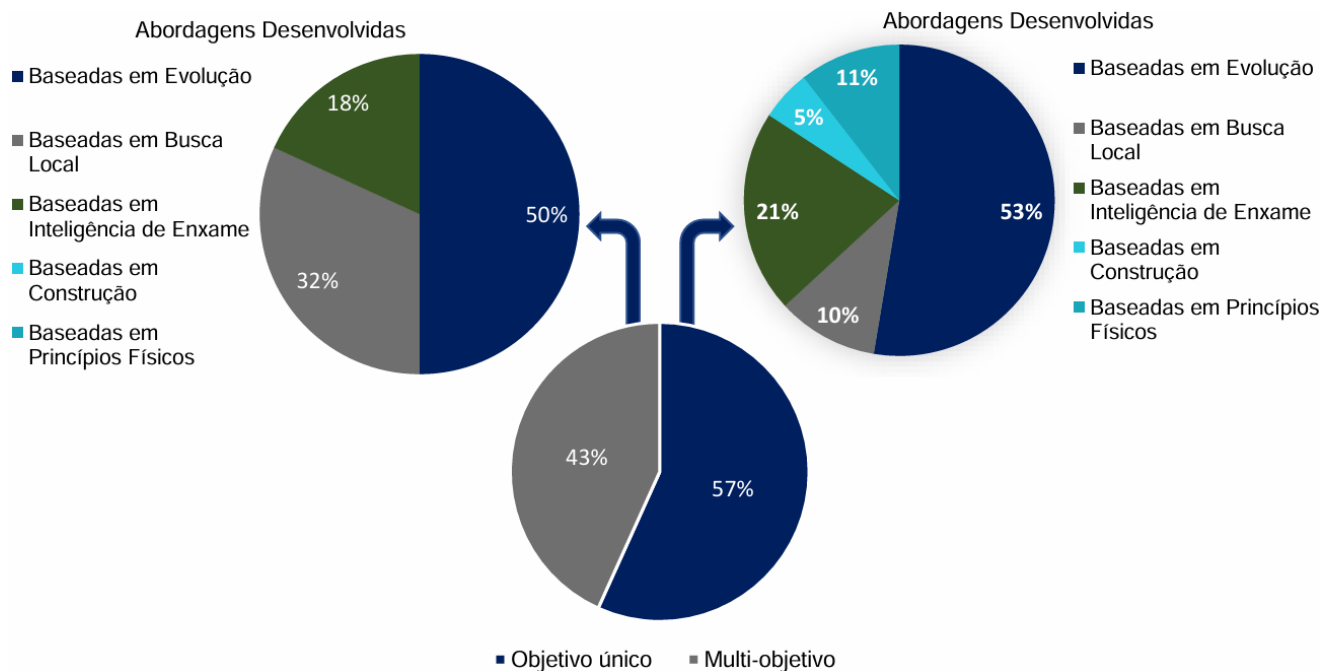
Outras combinações de objetivos também são exploradas, como a minimização da *tardiness* total (3 ocorrências), a minimização do tempo total ponderado de conclusão (2 ocorrências), e a minimização do consumo de energia, do *flowtime*, da *tardiness* e o custo de energia elétrica aparecendo com apenas 1 ocorrência.

Esses resultados demonstram que, apesar do amplo foco na redução do *makespan*, há um número significativo de estudos que buscam otimizar múltiplos critérios simultaneamente, refletindo a necessidade de soluções mais abrangentes e alinhadas com a realidade dos sistemas produtivos. Com base nessa análise, percebe-se que há oportunidades para explorar novas combinações de objetivos, especialmente aquelas que consideram *trade-offs* entre eficiência produtiva e sustentabilidade energética.

### 3.2.4 Distribuição dos Trabalhos Analisados Quanto ao Tipo de Objetivo e Metaheurísticas Utilizadas

O Gráfico 4 apresenta a distribuição dos estudos analisados, destacando a proporção de tipos de abordagens desenvolvidas nos trabalhos que abordam problemas com único objetivo e multiobjetivo. Dentro de cada uma dessas categorias, os pesquisadores empregam diferentes tipos de heurísticas e metaheurísticas para encontrar soluções eficientes.

**Gráfico 4:** Distribuição dos Trabalhos Analisados Quanto ao Tipo de Objetivo e Heurísticas



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Nos problemas de único objetivo, observa-se uma predominância de técnicas baseadas em evolução, seguidas pelas baseadas em busca local e em inteligência de enxame. Já nos estudos multiobjetivos, há uma redução na utilização de heurísticas baseadas em busca local, enquanto as abordagens baseadas em evolução e inteligência de enxame continuam sendo amplamente empregadas.

A predominância das técnicas baseadas em evolução nos estudos multiobjetivo pode ser explicada pela sua habilidade em explorar simultaneamente múltiplas regiões do espaço de soluções, favorecendo a obtenção de um conjunto diverso de respostas. Já nos trabalhos voltados para problemas de único objetivo, observa-se também uma maior presença de abordagens baseadas em busca local, devido à sua eficiência no refinamento de soluções em larga escala. Além disso, nota-se que as técnicas inspiradas em princípios físicos e processos biológicos continuam sendo menos frequentes em ambas as categorias.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa proporcionou uma visão clara e sistematizada da evolução dos estudos sobre o problema de *Flow Shop Scheduling* (FSS) no período de 2019 a 2025. Por meio de uma revisão sistemática da literatura e análise bibliométrica, foi possível identificar as principais tendências da área, como o crescimento do número de publicações, o destaque da China na produção científica e a predominância de abordagens baseadas em metaheurísticas, especialmente aquelas fundamentadas em algoritmos evolutivos.

Os resultados também evidenciaram uma ampliação do interesse por modelos multiobjetivo, com ênfase não apenas na minimização do *makespan*, mas também em critérios relacionados à eficiência energética e ao desempenho operacional, esse movimento revela uma preocupação crescente com soluções mais abrangentes e adaptadas à realidade dos sistemas produtivos atuais. No que se refere às técnicas aplicadas, observou-se uma predominância de abordagens baseadas em evolução, como algoritmos genéticos e meméticos, tanto em problemas de único objetivo quanto em multiobjetivo.



Dessa forma, o estudo contribui ao oferecer uma base sólida para futuras investigações, ao mesmo tempo em que destaca oportunidades ainda pouco exploradas, como a combinação de diferentes técnicas de otimização e a integração de aspectos sustentáveis nos modelos de tomada de decisão.

## REFERÊNCIAS

- ABDEL-BASSET, M.; MANOGARAN, G.; EL-SHAHAT, D.; MIRJALILI, S. A hybrid whale optimization algorithm based on local search strategy for the permutation flow shop scheduling problem. **Future Generation Computer Systems**, v. 85, n. 1, p. 129–145, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.03.020>
- Alabaş Uslu, Ç., Dengiz, B., Ađlan, C., & Sabuncuođlu, I. (2019). Modified self-adaptive local search algorithm for a biobjective permutation flow shop scheduling problem. **Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences**, 27(4), 2730–2745.
- BAUMANN, R. Globalização, desglobalização e o Brasil. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 42, n. 3, p. 592–618, 2022.
- BRIZOLA, Jairo; FANTIN, Nádia. Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura. **Revista de Educação do Vale do Arinos-RELVA**, v. 3, n. 2, 2016.
- Cui, H., Li, X., & Gao, L. (2023). An improved multi-population genetic algorithm with a greedy job insertion inter-factory neighborhood structure for distributed heterogeneous hybrid flow shop scheduling problem. **Expert Systems with Applications**, 222
- Ding, J., Schulz, S., Shen, L., Buscher, U., & Lü, Z. (2021). Energy aware scheduling in flexible flow shops with hybrid particle swarm optimization. **Computers and Operations Research**, 125.
- Fathollahi-Fard, A. M., Woodward, L., & Akhrif, O. (2024). A scenario-based robust optimization model for the sustainable distributed permutation flow-shop scheduling problem. **Annals of Operations Research**.
- Geng, K., & Ye, C. (2021). A memetic algorithm for energy-efficient distributed re-entrant hybrid flow shop scheduling problem. **Journal of Intelligent and Fuzzy Systems**, 41(2), 3951–3971.
- Geng, Y., & Li, J. (2023). An Improved Hyperplane Assisted Multiobjective Optimization for Distributed Hybrid Flow Shop Scheduling Problem in Glass Manufacturing Systems. **CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences**, 134(1), 241–266.
- Guo, J., Wang, L., Kong, L., & Lv, X. (2022). Energy-efficient flow-shop scheduling with the strategy of switching the power statuses of machines. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 53.



Han, Y., Gong, D., Jin, Y., & Pan, Q. (2019). Evolutionary multiobjective blocking lot-streaming flow shop scheduling with machine breakdowns. **IEEE Transactions on Cybernetics**, 49(1), 184–197.

He, P., Zhang, B., Lu, C., Meng, L. lei, & Zou, W. qiang. (2024). Optimizing distributed reentrant heterogeneous hybrid flowshop batch scheduling problem: Iterative construction-local search-reconstruction algorithm. **Swarm and Evolutionary Computation**, 90.

Huang, K. W., Girsang, A. S., Wu, Z. X., & Chuang, Y. W. (2019). A hybrid crow search algorithm for solving permutation flow shop scheduling problems. **Applied Sciences** (Switzerland), 9(7).

Huang, K., Li, R., Gong, W., Bian, W., & Wang, R. (2023). Competitive and Cooperative-Based Strength Pareto Evolutionary Algorithm for Green Distributed Heterogeneous Flow Shop Scheduling. **Intelligent Automation and Soft Computing**, 37(2), 2077–2101.

Jiang, E. da, & Wang, L. (2019). An improved multi-objective evolutionary algorithm based on decomposition for energy-efficient permutation flow shop scheduling problem with sequence-dependent setup time. **International Journal of Production Research**, 57(6), 1756–1771.

Lei, C., Zhao, N., Ye, S., & Wu, X. (2020). Memetic algorithm for solving flexible flow-shop scheduling problems with dynamic transport waiting times. **Computers and Industrial Engineering**, 139.

Lu, C., Liu, Q., Zhang, B., & Yin, L. (2022). A Pareto-based hybrid iterated greedy algorithm for energy-efficient scheduling of distributed hybrid flowshop. **Expert Systems with Applications**, 204.

Lu, B., Gao, K., Ren, Y., Li, D., & Slowik, A. (2024). Combining meta-heuristics and Q-learning for scheduling lot-streaming hybrid flow shops with consistent sublots. **Swarm and Evolutionary Computation**, 91(September), 1–18.

Luo, Q., Deng, Q., Guo, X., Gong, G., Zhao, X., & Chen, L. (2023). Modelling and optimization of distributed assembly hybrid flowshop scheduling problem with transportation resource scheduling. **Computers and Industrial Engineering**, 186.

Lv, D. Y., & Wang, J. B. (2024). Considering the peak power consumption problem with learning and deterioration effect in flow shop scheduling. **Computers and Industrial Engineering**, 197.

Öztop, H., Fatih Tasgetiren, M., Eliiyi, D. T., & Pan, Q. K. (2019). Metaheuristic algorithms for the hybrid flowshop scheduling problem. **Computers and Operations Research**, 111, 177–196.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews*, v. 10, n. 1, p. 89, 2021.



Quadras, D., Frazzon, E. M., Mendes, L. G., Pires, M. C., & Rodriguez, C. M. T. (2022). Adaptive Simulation-Based Optimization for Production Scheduling: **A Comparative Study**. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 424–429.

QUADRAS, Djonathan Luiz de Oliveira et al. Otimização Adaptativa Baseada em Simulação para a programação da produção em sistemas flow shop: um estudo comparativo. 2021.

Ribas, I., Companys, R., & Tort-Martorell, X. (2019). An iterated greedy algorithm for solving the total tardiness parallel blocking flow shop scheduling problem. **Expert Systems with Applications**, 121, 347–361.

Rojas-Santiago, M., Muthuswamy, S., & Hulett, M. (2020). An ACO algorithm for scheduling a flow shop with setup times. In *Int. J. Industrial and Systems Engineering* (Vol. 36, Issue 1).

Song, H. B., Yang, Y. H., Lin, J., & Ye, J. X. (2023). An effective hyper heuristic-based memetic algorithm for the distributed assembly permutation flow-shop scheduling problem. **Applied Soft Computing**, 135.

Sun, X., Shen, W., Fan, J., Vogel-Heuser, B., & Zhang, C. (2024). An improved non-dominated sorting genetic algorithm II for distributed heterogeneous hybrid flow-shop scheduling with blocking constraints. **Journal of Manufacturing Systems**, 77, 990–1008.

Tao, X. rui, Pan, Q. ke, & Gao, L. (2024). An Iterated Greedy Algorithm With Reinforcement Learning for Distributed Hybrid FlowShop Problems With Job Merging. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**.

Teng, Y., Li, X., Gao, L., Xie, J., & Li, Y. (2024). An improved co-evolutionary memetic algorithm based on novel schedule type and unconditional feasibility for hybrid flow-shop scheduling problem. **Computers and Industrial Engineering**, 193.

Wang, J., & Han, H. (2025). A learning-based memetic algorithm for energy-efficient distributed flow-shop scheduling with preventive maintenance. **Swarm and Evolutionary Computation**, 92.

Wang, J. J., & Wang, L. (2021). A Bi-Population Cooperative Memetic Algorithm for Distributed Hybrid Flow-Shop Scheduling. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence**, 5(6), 947–961.

Wang, J., Lei, D., Li, D., Li, X., & Tang, H. (2025). A dynamic artificial bee colony for fuzzy distributed energy-efficient hybrid flow shop scheduling with batch processing machines. **Journal of Manufacturing Systems**, 78, 94–108.

Wang, Y. J., Wang, G. G., Tian, F. M., Gong, D. W., & Pedrycz, W. (2023). Solving energy-efficient fuzzy hybrid flow-shop scheduling problem at a variable machine speed using an extended NSGA-II. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 121.



Wang, P., Sang, H., Tao, Q., Guo, H., Li, J., Gao, K., & Han, Y. (2020). Improved Migrating Birds Optimization Algorithm to Solve Hybrid Flowshop Scheduling Problem with Lot-Streaming. **IEEE Access**, 8, 89782–89792.

Wang, X., Li, J. J. J. J., Zhang, Y., Gao, K., Zheng, Z., Li, J. J. J. J., & Xu, Y. (2024). A bi-evolutionary cooperative multi-objective algorithm for blocking group flow shop with outsourcing option. **Expert Systems with Applications**, 258(May).

Wang, B., & Wang, H. (2025). An Iterated Greedy Algorithm with Memory and Learning Mechanisms for the Distributed Permutation Flow Shop Scheduling Problem. **Computers, Materials and Continua**, 82(1), 371–388.

Wang, G., Li, X., Gao, L., & Li, P. (2021). Energy-efficient distributed heterogeneous welding flow shop scheduling problem using a modified MOEA/D. **Swarm and Evolutionary Computation**, 62.

ZHANG, W. et al. Metaheuristics for multi-objective scheduling problems in industry 4.0 and 5.0: a state-of-the-arts survey. **Frontiers in Industrial Engineering**, v. 3, 2025.

Zhang, W., Li, C., Gen, M., Yang, W., & Zhang, G. (2024). A multiobjective memetic algorithm with particle swarm optimization and Q-learning-based local search for energy-efficient distributed heterogeneous hybrid flow-shop scheduling problem. **Expert Systems with Applications**, 237.

Zhang, C., Tan, J., Peng, K., Gao, L., Shen, W., & Lian, K. (2021). A discrete whale swarm algorithm for hybrid flow-shop scheduling problem with limited buffers. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 68.

Zheng, Q. Q., Zhang, Y., Tian, H. W., & He, L. J. (2021). An effective hybrid meta-heuristic for flexible flow shop scheduling with limited buffers and step-deteriorating jobs. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 106(September).

Zheng, Q., Zhang, Y., Tian, H., & He, L. (2024). A cooperative adaptive genetic algorithm for reentrant hybrid flow shop scheduling with sequence-dependent setup time and limited buffers. **Complex and Intelligent Systems**, 10(1), 781–809.