

Mini-Revisão da Literatura em SMAs para Otimização de Cadeia de Suprimentos

**Vitor Feijó Leonardo¹, Carlos Eduardo Mota Alves¹, Artur Henrique Holz Bartz¹,
Matheus Calixto Vaz Pinheiro¹, Pedro Lucas Garcia¹**

¹Universidade de Brasília (UnB)

¹Faculdade de Ciências e Tecnologias em Engenharias (FCTE)

Resumo. Para endereçar ineficiências em cadeias de suprimentos, como o Efeito Chicote, este levantamento bibliográfico analisa a aplicação de Sistemas Multiagentes (SMA) como solução otimizadora. Essa abordagem modela os parceiros como agentes autônomos que cooperam de forma descentralizada para otimizar o desempenho global. Nessa lógica, a análise de um corpus final de quatro artigos revelou duas frentes de aplicação principais: seleção automatizada de fornecedores e agendamento distribuído de pedidos. Os resultados também apontam para lacunas críticas na literatura, como a falta de testes em larga escala e validações em campo, direcionando a pesquisa para soluções que integrem as diferentes abordagens distribuídas.

1. Introdução

Em um ambiente de competição global e dinâmico, as empresas necessitam cada vez mais de coordenação com os parceiros da cadeia de suprimentos (supply chain) para atender aos pedidos dos clientes de forma eficaz [ren Lin et al. 2008]. A competição entre empresas evoluiu para uma competição entre cadeias de suprimentos, tornando a seleção de fornecedores e a gestão integrada atividades cruciais para o sucesso [Yu and Wong 2015]. Nesse contexto, a Gestão da Cadeia de Suprimentos (SCM) tornou-se um aspecto de extrema importância, tratando da integração holística desde as fontes de matérias-primas até os clientes finais, passando por fabricantes, atacadistas e varejistas [SCM 2024].

Tradicionalmente, muitas cadeias de suprimentos operam com base em modelos centralizados e em sistemas push, nos quais os produtos são empurrados dos fornecedores para os clientes [ren Lin et al. 2008]. No entanto, essa abordagem frequentemente resulta em ineficiências, como longos ciclos de atendimento, atrasos na entrega, excesso de estoque e, consequentemente, baixa satisfação do cliente [ren Lin et al. 2008]. Um dos fenômenos mais conhecidos decorrentes de falhas na coordenação é o Efeito Chicote (Bullwhip Effect), caracterizado pelo aumento da variabilidade da demanda à medida que se avança a montante na cadeia, do varejista ao fabricante [Fiorioli 2007]. Esse efeito gera custos elevados, reprogramações de produção, perda de vendas e gestão ineficiente de recursos [Fiorioli 2007].

Dentro deste cenário de evolução tecnológica, os Sistemas Multiagentes (SMA) surgem como uma plataforma promissora para a gestão de cadeias de suprimentos [ren Lin et al. 2008]. Um SMA modela as empresas participantes como agentes autônomos e inteligentes que interagem e cooperam para alcançar o desempenho global da cadeia, sendo que os agentes possuem características como autonomia, reatividade, proatividade e habilidade social, que os capacitam a executar tarefas complexas de forma

autônoma [Soroor et al. 2012]. Eles podem, por exemplo, negociar autonomamente a seleção de fornecedores [Yu and Wong 2015], coordenar cronogramas de atendimento de pedidos [ren Lin et al. 2008] e gerenciar a logística em situações de emergência, como em crises humanitárias [Ben Othman et al. 2017].

Diante do potencial transformador dos Sistemas Multiagentes para endereçar os desafios complexos e dinâmicos da gestão de cadeias de suprimentos, este trabalho busca realizar um levantamento bibliográfico para responder à seguinte pergunta motivadora: Quais maneiras os Sistemas Multiagentes podem ser implementados a fim de que as Cadeias de suprimentos sejam otimizadas autonomamente?

2. Metodologia

A presente sessão consiste em detalhar a metodologia do levantamento bibliográfico, precedida por um protocolo exploratório de duas fases, desenhado para construir e refinar a estratégia de busca final. O objetivo é identificar e analisar os principais trabalhos que abordam o projeto e a aplicação de Sistemas Multiagentes (SMA) na otimização da cadeia de suprimentos.

2.1. Primeira fase exploratória

A investigação iniciou-se em 20 de setembro de 2025, com uma busca exploratória na base de dados ScienceDirect, visando mapear o escopo geral do tema. Para este fim, utilizou-se a string: "multi-agent system" AND (logistics OR "supply chain" OR "inventory management") AND ("demand forecasting" OR "demand prediction").

A busca retornou 319 artigos. Foi realizada uma sondagem preliminar nos títulos e palavras-chave dos 25 primeiros resultados, ordenados por relevância, que revelou a alta incidência e relevância de conceitos específicos que não estavam explicitamente na busca original. Os termos recorrentes identificados foram "efeito chicote" (bullwhip effect), "algoritmos genéticos" (Genetic algorithm) e "teoria dos conjuntos aproximados" (Rough set theory).

2.2. Segunda fase exploratória

Para validar a importância desses termos recém-identificados, uma segunda busca exploratória foi conduzida na mesma base de dados. A nova string foi construída para incorporar esses conceitos: ("multi-agent system" OR "agent-based system") AND ("supply chain" OR "SCM") AND ("Genetic algorithm" OR "Rough set theory" OR "bullwhip effect" OR "Inventory management").

Esta busca retornou 1.073 resultados. Para confirmar a eficácia da nova string, foi realizada uma segunda análise amostral nos 25 primeiros títulos, também ordenados por relevância, aplicando-se um protocolo de triagem mais rigoroso. Os critérios para esta análise podem ser observados no quadro 1.

Desta análise amostral, 12 artigos foram pré-selecionados por seus títulos. A subsequente leitura de seus títulos, resumos (abstracts) e palavras-chave permitiram uma maior compreensão dos termos e métodos utilizados para geração de uma string mais direcionada à otimização da cadeia de suprimentos por sistemas multi agentes.

Quadro 1. Critérios de triagem para a segunda fase exploratória.

Tipo de critério	Descrição
Inclusão	Relaciona SMAs e cadeia de suprimentos explicitamente
Exclusão	Artigos de revisão ou perspectiva geral

Nessa triagem, realizamos a interseção de palavras presentes nos artigos selecionados. Além dos termos já utilizados, Multi-agent e Supply chain, identificamos recorrência de outros conceitos relevantes, como Decision-making e Optimization. Observamos também que a maioria dos trabalhos empregava técnicas como Fuzzy logic, Genetic Algorithms (GA) e Reinforcement Learning (RL). Além disso, alguns artigos já apresentavam implementações utilizando o framework JADE, o que reforçou a definição de palavras-chave adicionais para a pesquisa.

2.3. Fase definitiva

As duas fases exploratórias forneceram os insumos necessários para a construção do protocolo de busca final para este estudo. Desse modo, o levantamento bibliográfico da literatura, que constitui o núcleo deste trabalho, será, portanto, conduzida utilizando a string de busca aprimorada, com base nos achados anteriores e os critérios de inclusão e exclusão mais bem refinados.

A string final, aplicada à base ScienceDirect em 21 de setembro de 2025, foi: ("multi-agent system" OR "MAS") AND ("supply chain") AND ("Fuzzy Logic" OR "GA" OR "RL") AND "JADE" AND "Decision-making" AND "Optimization". A busca retornou um corpus inicial de 36 artigos.

Quadro 2. Critérios de triagem para a seleção do corpus final.

Etapa	Critérios de Inclusão e Exclusão
Etapa 1	Inclusão: Título relaciona SMAs e supply chain explicitamente. Exclusão: (a) Artigos de revisão, surveys ou de perspectiva geral.
Etapa 2	Exclusão: (b) Estudos cujo foco principal não seja um modelo SMA. (c) Estudos cujo foco seja puramente teórico, sem resultados práticos ou de simulação. (d) Estudos cuja aplicação do SMA seja em domínio diferente à Supply Chain.

A Etapa 1 do protocolo foi aplicada aos 36 artigos. Nessa lógica, iniciou-se pela análise dos títulos, com base nos critérios estabelecidos de inclusão e exclusão, expostos no quadro 2. Como resultado obtivemos a inclusão de 7 artigos, dos quais 1 deles era um artigo de revisão, portanto excluído, restando então 6 artigos.

Na Etapa 2, foi realizada a leitura do texto completo e resumo dos 6 artigos selecionados na etapa 1. Dessa forma, aplicação dos critérios mais rigorosos de qualidade

Quadro 3. Artigos finais selecionados no corpus.

Artigo	Problema de SCM	Característica Distribuída
Soroor et al. (2012)	Seleção de Fornecedores	Cadeia de suprimentos descentralizada de produto único.
Lin et al. (2008)	Agendamento de Pedidos	DCSP em cadeias de suprimentos cooperativas; empresas controlam variáveis locais.
Othman et al. (2017)	Agendamento de Recursos	Logística em Cadeias de Emergência (ESC); zonas geográficas hierárquicas e autônomas.
Yu & Wong (2015)	Seleção de Fornecedores	Negociação um-para-muitos multi-atributo entre comprador e múltiplos fornecedores.

metodológica e detalhamento da implementação levou à exclusão de mais 2 artigos, de acordo com os critérios estabelecidos no quadro 2 para a etapa 2.

Ao final do processo, foi consolidado um corpus final de 4 artigos, representados no quadro 3, que atendem plenamente a todos os critérios e constituem a base para a análise desenvolvida neste trabalho.

3. Discussão

Os sistemas multi-agente (SMA) mostram-se promissores para cadeias de suprimentos distribuídas, pois permitem que cada ator decida localmente, negocie com parceiros e se coordene sem necessidade de centralizar todas as informações.

Dos artigos selecionados, surgem dois focos principais. No primeiro, seleção de fornecedores, Soroor et al. apresentam um agente que combina Fuzzy-AHP e QFD para ranquear propostas segundo múltiplos critérios (qualidade, preço, prazo), automatizando a decisão de compra e tratando incertezas nas avaliações [Soroor et al. 2012]. Yu e Wong complementam esse foco ao mostrar como negociar compras combinadas (bundles), explorando sinergias entre produtos para obter acordos mais vantajosos do que a negociação item a item [Yu and Wong 2015].

No segundo foco, agendamento e coordenação, Lin et al. modelam o problema como restrições distribuídas e propõem o NegoGA, que integra negociação entre agentes e busca soluções via algoritmo genético, uma forma de coordenar compromissos sem centralizar toda a informação [ren Lin et al. 2008]. Ben Othman et al. trazem uma perspectiva aplicada, descrevendo um sistema de apoio à decisão (DSS) baseado em agentes para cadeias de suprimentos em situações de emergência, com ênfase em adaptabilidade e escolha de protocolos conforme o contexto operacional [Ben Othman et al. 2017].

Esses focos estão interligados: a escolha de fornecedores e os prazos acordados influenciam diretamente o planejamento das entregas, enquanto os mecanismos de negociação afetam os níveis de estoque necessários para manter o nível de serviço.

Identificamos lacunas relevantes: falta de testes em larga escala, poucas validações

em campo e pouca integração entre essas abordagens distribuídas e as políticas tradicionais de controle de estoque.

Propomos uma solução que combine (a) um módulo para lidar com incertezas na avaliação de propostas e (b) um método de coordenação para escalar entregas e recursos de forma distribuída, tudo dentro de um sistema multi-agente.

4. Conclusão

Este artigo apresentou uma revisão bibliográfica sobre a aplicação de sistemas multi-agente (SMA) em cadeias de suprimentos, com foco especial em otimização. Observamos que os SMA oferecem benefícios significativos por permitirem autonomia, negociação distribuída e tomada de decisão local, especialmente em contextos descentralizados e dinâmicos.

A análise dos quatro artigos selecionados evidenciou abordagens complementares: desde métodos de avaliação com incerteza e múltiplos critérios até mecanismos de negociação e agendamento entre agentes. No entanto, também identificamos limitações relevantes, como a escassez de estudos em larga escala, ausência de validação em ambientes reais e a falta de integração entre essas soluções e práticas tradicionais de controle de estoque.

Com base nisso, propomos como direções futuras o desenvolvimento de soluções integradas que combinem avaliação inteligente de propostas, negociação distribuída e coordenação operacional, além da construção de benchmarks e testes-piloto em ambientes reais. Essas iniciativas podem ajudar a transformar os avanços conceituais observados na literatura em ferramentas práticas para cadeias de suprimentos mais eficientes, resilientes e adaptáveis.

Referências

- (2024). Supply chain como ferramenta estratégica na logística: Otimizando operações e maximizando competitividade. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar*, 5(5):e555165.
- Ben Othman, S., Zgaya, H., Dotoli, M., and Hammadi, S. (2017). An agent-based decision support system for resources' scheduling in emergency supply chains. *Control Engineering Practice*, 59:27–43.
- Fiorioli (2007). Modelagem matemática do efeito chicote em cadeia de abastecimento. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- ren Lin, F., chun Kuo, H., and ming Lin, S. (2008). The enhancement of solving the distributed constraint satisfaction problem for cooperative supply chains using multi-agent systems. *Decision Support Systems*, 45(4):795–810. Information Technology and Systems in the Internet-Era.
- Soroor, J., Tarokh, M. J., Khoshalhan, F., and Sajjadi, S. (2012). Intelligent evaluation of supplier bids using a hybrid technique in distributed supply chains. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(2):240–252.
- Yu, C. and Wong, T. (2015). An agent-based negotiation model for supplier selection of multiple products with synergy effect. *Expert Systems with Applications*, 42(1):223–237.