

XV FESTIVAL DO MEL DE SÃO JOSÉ DOS
CORDEIROS XV SEMINÁRIO DE INTEGRAÇÃO DA CADEIA
PRODUTIVA DA APICULTURA E MELIPONICULTURA DO
CARIRI PARAIBANO VIII EVENTO TÉCNICO-CIENTÍFICO



(18,19 e 20 de setembro de 2025)



Eficiência Energética Coletiva em Insetos Sociais Parâmetros Térmicos com Sistemas Quânticos

Collective Energy Efficiency in Social Insects: Thermal Parameters with Quantum Systems

Aline Carla de Medeiros¹, Rossino Ramos de Almeida¹, Carlos Ticiano Coutinho Ramos², Camila Vieira de Sousa Gurjão² e Patricio Borges Maracaja^{1, 2}.

Resumo: Insetos sociais, como cupins e abelhas, apresentam notável capacidade de regulação térmica e eficiência energética coletiva em seus ninhos. Esses sistemas biológicos, auto-organizados e resilientes, lembram fenômenos físicos em que partículas interagem buscando estados de mínima energia. A analogia com sistemas quânticos coletivos, como condensados de Bose-Einstein e modelos de spins acoplados, abre novas perspectivas para a compreensão da biologia social sob a ótica da física teórica e para aplicações em biomimética e tecnologias de eficiência energética. A vida em sociedade exige estratégias de otimização energética. Cupins constroem estruturas arquitetônicas altamente ventiladas, enquanto abelhas mantêm suas colônias em temperaturas estáveis por meio de vibração muscular, agrupamento ou dispersão de indivíduos. Esses mecanismos coletivos produzem estabilidade térmica e eficiência metabólica. A física quântica oferece metáforas úteis para compreender tais processos, dado que sistemas de muitas partículas tendem a estados de mínima energia através de interações locais. Essa revisão interdisciplinar foi baseada em literatura de ecologia de insetos sociais, física estatística e biologia quântica. Foram considerados modelos termodinâmicos de regulação coletiva em colônias e suas aproximações com modelos físicos de estados coletivos. Como resultados encontramos nos Cupins os seus ninhos que apresentam estruturas ventilatórias que regulam temperatura e umidade de forma passiva, com mínima perda de energia. Nas abelhas: a colônia atua como uma superorganização, que ajustam a temperatura da cria no seu habitat em torno de 35 °C através de comportamentos coordenados. Uns estados coletivos onde esses sistemas lembram a busca de partículas quânticas por estados fundamentais, onde a interação local resulta em estabilidade global. A eficiência emergente mante tanto em física quântica quanto em sociedades de insetos, a ordem coletiva surge sem controle centralizado, a partir de leis simples. E ainda a eficiência biomimética para compreender tais estratégias pode inspirar sistemas arquitetônicos sustentáveis, novos métodos de regulação térmica em construções e otimização em redes energéticas. A eficiência energética coletiva de insetos sociais constitui um modelo natural de auto-organização. Os paralelos com sistemas quânticos coletivos não apenas ampliam a compreensão teórica desses organismos, mas também apontam caminhos para aplicações em sustentabilidade, design de sistemas complexos e tecnologias inspiradas na natureza. O estudo interdisciplinar dessa interface é promissor para ciência básica e inovação aplicada.

Palavras-chave: insetos sociais; regulação térmica; eficiência energética; física quântica coletiva; biomimética.

Caderno Verde - ISSN 2358-2367- (Pombal - PB) v. 14 n. 2 (2025): XV Festival do Mel de Sao Jose dos Cordeiros – PB – Brasil - (18,19 e 20 de setembro de 2025)

1) UFCG/CCTA/Pombal – PB

2) INSA – Instituto Nacional do Semiarido

Abstract: Social insects, such as termites and bees, exhibit remarkable thermal regulation and collective energy efficiency in their nests. These self-organized and resilient biological systems resemble physical phenomena in which particles interact in search of minimum energy states. The analogy with collective quantum systems, such as Bose-Einstein condensates and coupled spin models, opens new perspectives for understanding social biology from the perspective of theoretical physics and for applications in biomimetics and energy efficiency technologies. Life in society requires energy optimization strategies. Termites build highly ventilated architectural structures, while bees maintain stable temperatures in their colonies through muscle vibrations and the clustering or dispersal of individuals. These collective mechanisms produce thermal stability and metabolic efficiency. Quantum physics offers useful metaphors for understanding such processes, given that many-particle systems tend toward minimum-energy states through local interactions. This interdisciplinary review was based on literature from social insect ecology, statistical physics, and quantum biology. Thermodynamic models of collective regulation in colonies and their approximations to physical models of collective states were considered. As a result, termite nests have ventilatory structures that passively regulate temperature and humidity, with minimal energy loss. In bees, the colony acts as a superorganization, adjusting the brood's temperature in their habitat to around 35°C through coordinated behaviors. Collective states in these systems resemble the search for fundamental states by quantum particles, where local interaction results in global stability. Emergent efficiency holds true in both quantum physics and insect societies; collective order arises without centralized control, based on simple laws. Furthermore, understanding biomimetic efficiency strategies can inspire sustainable architectural systems, new thermal regulation methods in buildings, and optimization in energy networks. The collective energy efficiency of social insects constitutes a natural model of self-organization. Parallels with collective quantum systems not only broaden the theoretical understanding of these organisms but also point to applications in sustainability, complex systems design, and nature-inspired technologies. The interdisciplinary study of this interface is promising for basic science and applied innovation.

Keywords: social insects; thermal regulation; energy efficiency; collective quantum physics; biomimetics.