

# Gestão Personalizada de Dietas Animais com Agentes Cognitivos Automatizados

Carlos Eduardo Taranto Winter, Davi Heggdorne Klein,  
Nilson Lazarin, Bruno Freitas, Carlos Pantoja

<sup>1</sup>Bacharelado em Sistemas de Informação – Centro Federal de Educação Tecnológica  
Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ) – Nova Friburgo, RJ – Brazil

chon@grupo.cefet-rj.br

**Abstract.** *Adequate and personalized feeding is essential for the health and well-being of animals, especially in environments with multiple individuals and distinct nutritional needs. This paper proposes an automated system for animal diet management, integrating technologies such as embedded cognitive agents and Radio Frequency Identification (RFID) devices. The system aims to provide precise and efficient control of feeding, ensuring that each animal receives the necessary food in the right quantity and at the right time. The proposal is based on an automated feeder that individually identifies animals and distributes food according to pre-configured feeding plans. The application of this system can be particularly beneficial in farms, zoos, and animal rehabilitation centers, contributing to improved animal health and quality of life.*

**Resumo.** *A alimentação adequada e personalizada é crucial para a saúde e bem-estar dos animais, especialmente em ambientes com múltiplos indivíduos e necessidades nutricionais distintas. Este trabalho propõe um sistema automatizado para o gerenciamento de dietas animais, integrando tecnologias como agentes cognitivos embarcados e dispositivos de Radio Frequency Identification (RFID). O sistema visa proporcionar um controle preciso e eficiente da alimentação, garantindo que cada animal receba o alimento necessário, na quantidade exata e no momento adequado. A proposta é baseada em um alimentador automatizado que identifica individualmente os animais e distribui os alimentos conforme planos alimentares previamente configurados. A aplicação desse sistema pode ser particularmente útil em fazendas, zoológicos e centros de reabilitação animal, contribuindo para a melhoria da saúde e qualidade de vida dos animais.*

## 1. Introdução

A alimentação adequada é fundamental para a saúde e o bem-estar dos animais, especialmente em ambientes compartilhados, onde diferentes espécies ou indivíduos possuem necessidades nutricionais específicas. Fatores como idade, peso, espécie e condições de saúde desempenham papéis essenciais na definição de dietas equilibradas [CRMV-SP 2021]. No entanto, garantir que cada animal receba a quantidade e o tipo de alimento adequados é um desafio comum em locais como fazendas, zoológicos ou centros de reabilitação animal [FPZSP 2020]. Estudos como o de [Ernst et al. 2005] destacam que erros na administração alimentar podem levar a problemas de saúde e desperdício de recursos, evidenciando a necessidade de soluções automatizadas para otimizar o manejo nutricional.

Nesse contexto, a aplicação de dispositivos de *Artificial Intelligence of Things* (AIoT) surge como uma alternativa promissora para aprimorar a gestão alimentar em ambientes compartilhados. Sensores inteligentes e sistemas embarcados podem monitorar o consumo individual, ajustar automaticamente as porções e garantir a distribuição adequada dos alimentos com base em parâmetros previamente estabelecidos. Diante dessa realidade, este trabalho propõe um sistema automatizado para gerenciamento de dietas animais, equipado com agentes cognitivos embarcados. Esses agentes permitem a identificação individual dos animais e o monitoramento de seus padrões alimentares. Tal abordagem visa proporcionar maior eficiência no manejo nutricional, garantindo que os cuidadores tenham acesso a informações precisas sobre a alimentação de cada animal.

Assim, este trabalho avança ao integrar automação e inteligência embarcada, utilizando agentes cognitivos que atuam de forma dinâmica e adaptativa. Esses agentes possibilitam ajustes em tempo real no manejo alimentar, aumentando a precisão e a eficiência do processo. Dessa forma, buscamos demonstrar como a convergência de tecnologias avançadas, como Inteligência Artificial (IA) e Sistemas Multiagente (SMA), pode transformar o gerenciamento alimentar, tornando-o mais eficiente, sustentável e personalizado.

## **2. Fundamentação Teórica**

Um SMA é uma abordagem de IA que envolve a colaboração de múltiplos agentes autônomos, que interagem entre si para resolver problemas complexos. Cada agente possui suas próprias percepções e pode tomar decisões com base em suas informações locais, permitindo que o sistema como um todo alcance objetivos coletivos de forma descentralizada [Wooldridge 2009]. Em um SMA, os agentes podem ser sistemas físicos ou virtuais, capazes de atuar de forma independente, mas colaborativa, resolvendo problemas que exigiriam uma abordagem centralizada tradicional.

O conceito de SMA embarcado se refere à aplicação de sistemas multiagentes em dispositivos com recursos limitados, como sensores e microcontroladores, que operam de forma autônoma e colaborativa. De acordo com [Pantoja 2024], um Sistema Multiagente Embarcado é um sistema computacional que controla e monitora hardware, executa ações e permite a comunicação com outros sistemas embarcados. Esses sistemas são projetados para atuar em ambientes distribuídos, onde agentes independentes, com capacidades computacionais limitadas, interagem localmente para alcançar soluções de forma eficiente. [Moraes do Nascimento and de Lucena 2017] destacam que cada dispositivo inteligente em um ambiente de *Internet of Things* (IoT) pode ser modelado como um agente físico, composto por um microcontrolador, sensores e atuadores, com um cérebro representado por uma rede neural artificial. Essa abordagem permite a descentralização da tomada de decisão, reduzindo a necessidade de comunicação constante com um servidor central e, consequentemente, aumentando a eficiência do sistema. Nesse sentido, [Dzaferagic et al. 2019] afirmam que a modelagem baseada em agentes é ideal para compreender as interações de nós heterogêneos em ambientes complexos, tornando os SMA embarcados uma solução eficaz para sistemas distribuídos.

A tecnologia de *Radio Frequency Identification* (RFID) utiliza ondas de rádio para identificar e rastrear objetos de maneira automática, sem necessidade de contato físico. Segundo [Want 2006], o RFID consiste em duas partes principais: a tag, que armazena as informações, e o leitor, que as coleta. As tags RFID podem ser passivas (sem

fonte de energia própria, ativadas pelo sinal do leitor) ou ativas (com bateria interna e capacidade de emitir sinais). A aplicação de RFID é vasta, incluindo áreas como controle de estoque, gestão de ativos, rastreamento de produtos e monitoramento de animais [Pereira et al. 2023]. A tecnologia também é integrada a sistemas SMA para fornecer dados em tempo real, o que permite uma gestão automatizada e eficiente de recursos, como no caso do manejo alimentar de animais.

No contexto de AIoT [Zhang and Tao 2021], a implementação de agentes cognitivos com diferentes arquiteturas pode ser realizada por meio do JasonEmbedded. Esse framework viabiliza o uso de agentes como o BDI Communicator [Nunes et al. 2018] e o Argo [Pantoja et al. 2016]. Enquanto o Communicator se destaca pela comunicação com agentes externos ao SMA via redes IoT, o Argo é especializado no gerenciamento e manipulação de microcontroladores. A construção desses agentes cognitivos pode ser feita com a linguagem de programação Jason [Bordini et al. 2005]. Essa abordagem foi desenvolvida para aplicações em IoT e sistemas ciber-físicos [Pantoja et al. 2023] e está integrado ao ambiente de desenvolvimento chonIDE [Souza de Jesus et al. 2023].

### **3. Trabalhos Relacionados**

O trabalho de [Inácio et al. 2023] mostra que a adoção de sistemas automatizados e a aplicação de tecnologias avançadas têm sido abordadas em diversos contextos, especialmente no campo da saúde animal e no gerenciamento de recursos. No âmbito dos SMA, o seguinte trabalho propõe um sistema cognitivo baseado em agentes que simula o comportamento de pacientes com Alzheimer. Este sistema utiliza sensores e atuadores para monitorar e planejar intervenções automatizadas no ambiente, destacando a eficiência da aplicação de SMA em situações onde a personalização é essencial para atender às necessidades específicas de indivíduos.

Em [Martins et al. 2024], é explorado a integração de Sistemas Multi-Agente (MAS) com plataformas IoT, utilizando o middleware Fiware, para o monitoramento de deslizamentos de terra, um problema recorrente no Rio de Janeiro durante a temporada de chuvas intensas. A aplicação dessa integração é possível graças ao uso do framework JaCaMo e dispositivos Android equipados com sensores IoT. O sistema desenvolvido coleta e analisa dados em tempo real, permitindo gerar alertas rápidos e eficazes. Esses alertas são essenciais para a tomada de decisões pelas autoridades, ajudando a proteger a população e a mitigar os impactos de eventos meteorológicos extremos.

O estudo de [Firmiano and Júnior 2023] apresenta uma análise dos efeitos de dietas diferentes em animais da mesma espécie, investigando as consequências de diferentes tipos de alimentação em cães domiciliados. O estudo abordou como variações na dieta impactam aspectos como digestibilidade, saúde e bem-estar geral dos animais. Os resultados destacam a importância de uma alimentação balanceada e adequada às necessidades nutricionais dos cães, evidenciando que dietas distintas podem levar a diferentes resultados em termos de saúde e qualidade de vida dos animais. Esse estudo contribui para a compreensão dos impactos de dietas variadas e reforça a necessidade de um manejo alimentar personalizado, que pode ser aplicado também a outras espécies em contextos de cuidado e nutrição.

Apesar dos avanços desses trabalhos, observa-se que eles tratam de forma isolada aspectos de automação, saúde animal ou monitoramento ambiental. Não há pesquisas que

integrem simultaneamente SMA, agentes cognitivos embarcados, RFID e IoT no contexto do gerenciamento de dietas animais. O presente trabalho diferencia-se justamente por propor essa integração inédita, ampliando o estado da arte e oferecendo contribuições práticas e científicas para o bem-estar animal.

**Tabela 1. Comparativo de Trabalhos**

| <b>Crítérios</b>                  | <b>T1</b> | <b>T2</b> | <b>T3</b> | <b>PT</b> |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Uso de Sistemas Multiagentes      | V         | V         | X         | V         |
| Aplicação na área da saúde animal | X         | X         | V         | V         |
| Foco em IoT                       | V         | V         | X         | V         |
| Utilização de Sensores            | V         | V         | X         | V         |
| Enfoque em Automação              | V         | V         | X         | V         |

T1, T2 e T3 representam, respectivamente, o primeiro, segundo e terceiro trabalhos relacionados.

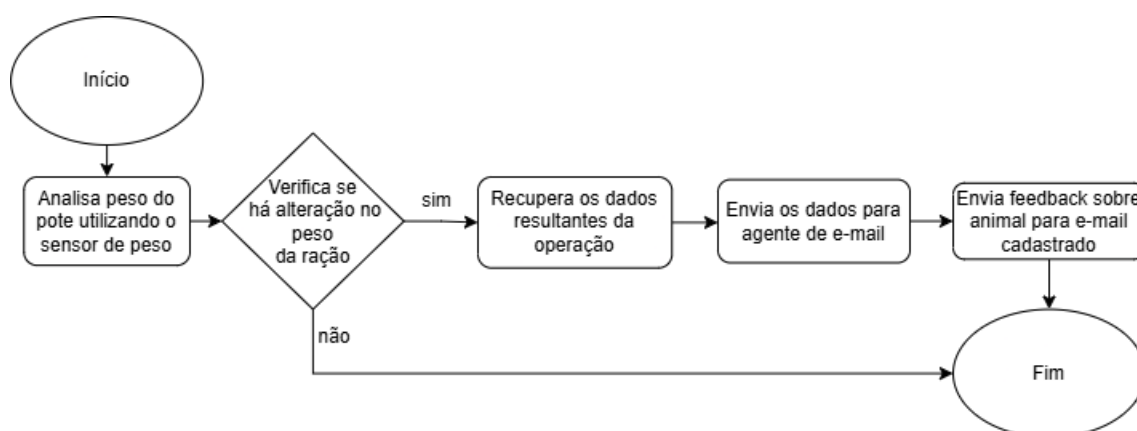
PT representa o presente trabalho.

V indica que o trabalho possui determinado atributo, enquanto X indica que não o possui.

#### 4. Proposta

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema inteligente para o gerenciamento automatizado da alimentação animal, utilizando tecnologias como agentes cognitivos embarcados e dispositivos IoT. O sistema será composto por um alimentador automatizado, capaz de identificar individualmente cada animal por meio de métodos de identificação automática, como o RFID, e registrar seu acesso ao alimento. A quantidade de alimento disponível será monitorada por um sensor de peso instalado abaixo do recipiente de alimentação, permitindo que o sistema informe as movimentações do pote de ração e acione reabastecimentos quando necessário.

O sistema oferece um controle eficiente sobre quais animais se alimentaram e quando isso ocorreu. Com base nos registros de acesso ao pote de ração, os responsáveis poderão acompanhar o consumo alimentar e tomar decisões informadas sobre o manejo da alimentação.



**Figura 1. Diagrama de blocos do SMA.**

A proposta se baseia nos seguintes pilares:

- *Identificação Individual do Animal*: Uso de tecnologias que assegurem o reconhecimento preciso de quais animais acessaram o alimentador.
- *Monitoramento da Movimentação do Pote de Ração*: Registro contínuo do peso do pote e do status da ração (cheio, parcial ou vazio), garantindo um acompanhamento detalhado do consumo.
- *Notificações Automatizadas*: Envio de relatórios periódicos via e-mail informando todas as movimentações do pote de ração, incluindo quais animais se alimentaram e quando ocorreram as alterações no peso do recipiente.

O objetivo principal deste sistema é melhorar o controle sobre o consumo alimentar dos animais, reduzindo o desperdício e permitindo um monitoramento contínuo. A proposta é especialmente relevante para ambientes como fazendas, zoológicos e centros de reabilitação animal, onde a gestão da alimentação é um fator crucial para o bem-estar dos animais.

## 5. Experimentos

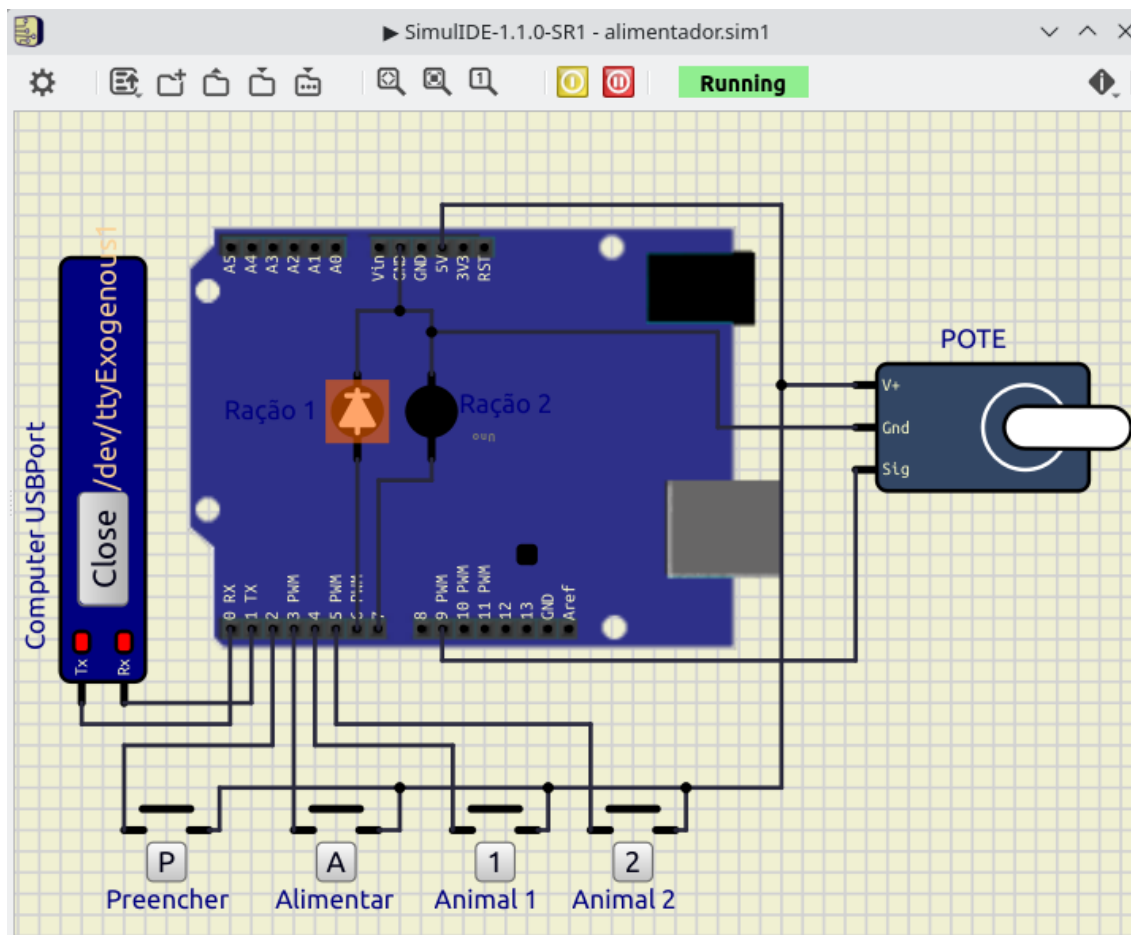
Nesta seção, apresentamos os experimentos realizados para validar a proposta de um sistema automatizado de gerenciamento de dietas animais baseado em agentes cognitivos embarcados. Os experimentos foram conduzidos com o objetivo de avaliar a identificação dos animais no ambiente virtual, o controle da distribuição de alimento e a eficiência do monitoramento do consumo alimentar. Para estruturar essa etapa, adotamos a abordagem de [Freitas et al. 2025], que propõem a integração de ambientes exógenos simulados no processo de desenvolvimento de SMA Embarcados. Essa abordagem permite que o raciocínio dos agentes seja desacoplado das camadas de hardware, de modo que os mesmos planos BDI possam ser executados tanto em ambientes virtuais quanto em protótipos físicos, sem a necessidade de reescrita do código. Assim, o sistema foi inicialmente validado em um ambiente simulado, onde sensores de peso e identificadores RFID foram representados virtualmente.

O primeiro experimento teve como objetivo verificar se o sistema era capaz de identificar corretamente os animais no ambiente virtual. Para isso, foram atribuídos identificadores únicos a cada animal dentro do ambiente simulado. O experimento consistiu em testar se o sistema reconhecia corretamente cada animal ao acessar o alimentador virtual.

Os resultados demonstraram que todas as identificações foram realizadas com sucesso, garantindo a correta associação entre os identificadores dos animais e os registros cadastrados no sistema.

- *Preencher*: Responsável por encher o pote de ração conforme as configurações pré-definidas pelo usuário.
- *Alimentar*: Simulação do ato de um animal se alimentando, consumindo a ração disponível.
- *Animal 1*: Representa a identificação de um animal específico quando ele se aproxima do pote de ração.
- *Animal 2*: Representa a identificação de um segundo animal distinto ao se aproximar do pote de ração.

- *Pote*: Simulação do sensor de peso localizado abaixo do pote de ração, permitindo o monitoramento da quantidade de alimento disponível.



**Figura 2. Imagem do Arduino.**

O segundo experimento teve como foco avaliar a precisão do sistema no monitoramento do consumo alimentar. O sistema foi programado para fornecer feedback com base em quais animais se alimentaram, o peso do pote e o status do pote (cheio, parcial ou vazio).

Os resultados mostraram que o sistema foi capaz de registrar corretamente esses parâmetros, permitindo um acompanhamento eficiente do consumo. Essa funcionalidade é essencial para fornecer informações aos responsáveis sobre a disponibilidade de alimento e garantir que todos os animais tivessem acesso ao alimentador.

Por fim, realizamos testes para validar o envio de notificações automatizadas aos responsáveis pelos animais. O sistema foi configurado para enviar alertas via e-mail informando quais animais se alimentaram, o peso do pote e o status do reservatório de alimento.

Para viabilizar esse processo, o envio de e-mails é gerenciado por um agente de mailer integrado a um agente de comunicação em rede. Esse agente recebe os dados transmitidos pelo alimentador e os repassa ao mailer, que, por sua vez, encaminha o feedback



**Figura 3. Notificação recebida por e-mail.**

ao contato cadastrado. Dessa forma, as informações são entregues com eficiência e de forma segura [Lazarin et al. 2025].

Os testes indicaram que as notificações foram enviadas corretamente e em tempo hábil, garantindo um monitoramento remoto eficiente.

### 5.1. Reprodutibilidade

Os experimentos realizados demonstraram a viabilidade do sistema proposto e sua capacidade de gerenciar eficientemente a alimentação animal por meio de tecnologias embarcadas. Os códigos fonte, uma apresentação e um vídeo demonstrativos estão disponíveis<sup>1</sup>.

## 6. Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema automatizado para monitoramento da alimentação animal. As funcionalidades implementadas permitiram o registro preciso de quais animais acessaram o alimentador, a monitoração contínua da quantidade de ração disponível e o envio automatizado de notificações e relatórios para os responsáveis. Dessa forma, foi possível estabelecer um controle eficiente sobre o manejo alimentar, reduzindo desperdícios e facilitando a supervisão do consumo.

Os testes realizados demonstraram que o sistema proposto funciona de maneira satisfatória para a identificação e rastreamento do acesso ao alimento, embora existam desafios a serem superados para aprimorar sua precisão e expandir suas funcionalidades. Assim, os resultados obtidos reforçam o potencial do uso de tecnologias embarcadas para otimizar a gestão da alimentação animal, promovendo maior eficiência e organização no processo.

<sup>1</sup><https://github.com/LabRedesCefetRJ/WinterEtAl2025>

## 6.1. Limitações

Apesar dos resultados positivos, este estudo apresenta limitações relevantes. A validação foi conduzida em ambiente simulado, sem experimentação em campo, o que pode limitar a generalização dos resultados. Além disso, não foram aplicadas métricas quantitativas robustas (por exemplo, tempo de resposta, eficiência energética ou taxa de falhas), restringindo a força das evidências apresentadas. Trabalhos futuros devem explorar experimentos práticos em ambientes reais e adotar métricas de desempenho que consolidem a eficácia da proposta.

## 6.2. Trabalhos Futuros

Para aprimorar o sistema desenvolvido, algumas melhorias podem ser exploradas em trabalhos futuros, tais como:

- *Distribuição Automatizada de Alimentos*: Implementação de um mecanismo que controle a quantidade e o tipo de alimento fornecido para cada animal, de acordo com um plano previamente configurado.
- *Configuração e Controle Personalizados*: Desenvolvimento de uma interface que permita aos responsáveis ajustar os parâmetros do sistema de maneira prática e acessível.
- *Alertas Inteligentes*: Implementação de notificações personalizadas para alertar sobre padrões de alimentação atípicos, como consumo excessivo ou insuficiente.
- *Implementação e Validação em Sistema Físico*: Construção e testes do sistema em um ambiente real, garantindo que os sensores, identificadores automáticos e notificações automatizadas operem corretamente fora do ambiente virtual, permitindo ajustes e otimizações conforme necessário.
- *Integração com Plataformas e Gateways IoT*: Ampliar a interoperabilidade do sistema e viabilizar aplicações em larga escala.

A incorporação dessas melhorias tornará o sistema mais robusto e funcional, possibilitando um controle alimentar ainda mais preciso e contribuindo significativamente para o bem-estar e a nutrição dos animais.

## Referências

- Bordini, R. H., Hübner, J. F., and Vieira, R. (2005). Jason and the golden fleece of agent-oriented programming. In Bordini, R. H., Dastani, M., Dix, J., and El Fallah Seghrouchni, A., editors, *Multi-Agent Programming: Languages, Platforms and Applications*, pages 3–37, Boston, MA. Springer US. DOI: 10.1007/0-387-26350-0\_1.
- CRMV-SP (2021). Saúde, bem-estar e qualidade de vida dependem diretamente da alimentação do animal. Disponível em: <https://crmvsp.gov.br/saude-bem-estar-e-qualidade-de-vida-dependem-diretamente-da-alimentacao-do-animal>.
- Dzaferagic, M., Butt, M. M., Murphy, M., Kaminski, N., and Marchetti, N. (2019). Agent-based modelling approach for distributed decision support in an iot network.
- Ernst, K., Puppe, B., Schön, P. C., and Manteuffel, G. (2005). A complex automatic feeding system for pigs aimed to induce successful behavioural coping by cognitive adaptation. *Applied Animal Behaviour Science*, 91(3-4):205–218. DOI: 10.1016/j.applanim.2004.10.010.

- Firmiano, B. O. and Júnior, E. G. (2023). Análise de diferentes alimentações para caninos. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária FAG*, 6(2):80–95. Disponível em <https://revistas.fag.edu.br/index.php/ABMVFAG/article/view/1908>.
- FPZSP (2020). Caderno Nutricional da Fundação Parque Zoológico de São Paulo. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/editais/sites/41/2020/11/14-anexo-xiv-caderno-nutricional-da-fpzsp.pdf>.
- Freitas, B., Lazarin, N., Pantoja, C., and Viterbo, J. (2025). Integrating Simulated Exogenous Environments to Support the Learning Process of the Embedded MAS Approach. In *Anais do XXXIII Workshop sobre Educação em Computação*, pages 1195–1206, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC. DOI: 10.5753/wei.2025.9115.
- Inácio, N. L., Kurtz, G. C., Martins, M. O., and Zamberlan, A. D. O. (2023). SIMULAÇÃO COM SISTEMAS MULTIAGENTES INTELIGENTES DE CENÁRIO COM PACIENTE ALZHEIMER. In *Anais do Simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão (SEPE 2023)*. UFN. DOI: 10.48195/sepe2023.27302.
- Lazarin, N. M., de Souza, J. P. B., Pantoja, C. E., Alexandre, T., and Viterbo, J. (2025). Human and BDI-Agent Interaction via KQML Messages over IMAP and SMTP. In *Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Digital Twins: The PAAMS Collection*, pages 172–183, Cham. Springer Nature Switzerland. DOI: 10.1007/978-3-031-70415-4\_15.
- Martins, W., Bernadini, F., and Pantoja, C. (2024). Implementação de um Sistema Multiagente Embarcado para Situação de Eventos Meteorológicos Extremos Utilizando o Middleware Fiware para IoT. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação)-Universidade Federal Fluminense, Instituto de Computação. DOI: 10.13140/RG.2.2.23258.96966.
- Moraes do Nascimento, N. and de Lucena, C. J. P. (2017). Engineering cooperative smart things based on embodied cognition. In *2017 NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems (AHS)*, pages 109–116. DOI: 10.1109/AHS.2017.8046366.
- Nunes, P., Almeida, I., Picanço, T., Pantoja, C., Samyn, L., Jesus, V., and Manoel, F. (2018). Explorando a Comunicação entre Sistemas Multi-Agentes Embarcados em Ambientes Inteligentes para IoT: Uma Proposta de Laboratório. In *Anais do XII Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações*, pages 238–243, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC. DOI: 10.5753/wesaac.2018.33272.
- Pantoja (2024). Engenharia de Sistemas Multiagentes Embarcados. Seminário de Engenharia de Software 2024 da UDESC Alto Vale. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/384903801>.
- Pantoja, C. E., Jesus, V. S. d., Lazarin, N. M., and Viterbo, J. (2023). A Spin-off Version of Jason for IoT and Embedded Multi-Agent Systems. In *Intelligent Systems*, pages 382–396, Cham. Springer Nature Switzerland. DOI: 10.1007/978-3-031-45368-7\_25.
- Pantoja, C. E., Stabile, M. F., Lazarin, N. M., and Sichman, J. S. (2016). ARGO: An Extended Jason Architecture that Facilitates Embedded Robotic Agents Programming. In *Engineering Multi-Agent Systems*, pages 136–155, Cham. Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-50983-9\_8.

- Pereira, E., Araújo, , Silva, L. F. V., Batista, M., Júnior, S., Barboza, E., Santos, E., Gomes, F., Fraga, I. T., Davanso, R., Santos, D. O. d., and Nascimento, J. d. A. (2023). RFID Technology for Animal Tracking: A Survey. *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, 7:609–620. DOI: 10.1109/JRFID.2023.3334952.
- Souza de Jesus, V., Mori Lazarin, N., Pantoja, C. E., Vaz Alves, G., Ramos Alves de Lima, G., and Viterbo, J. (2023). An IDE to Support the Development of Embedded Multi-Agent Systems. In *Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Cognitive Mimetics. The PAAMS Collection*, pages 346–358, Cham. Springer Nature Switzerland. DOI: 10.1007/978-3-031-37616-0\_29.
- Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. *IEEE Pervasive Computing*, 5(1):25–33. DOI: 10.1109/MPRV.2006.2.
- Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons.
- Zhang, J. and Tao, D. (2021). Empowering Things With Intelligence: A Survey of the Progress, Challenges, and Opportunities in Artificial Intelligence of Things. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(10):7789–7817. DOI: 10.1109/JIOT.2020.3039359.