

Detecção de Incêndio apoiada por Agentes Cognitivos

Guilherme A. Leite, Charles J. Heringer, Diogo M. Fernandes, Nilson M. Lazarin

Bacharelado em Engenharia Elétrica – Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ) – Nova Friburgo, RJ – Brasil

{guilherme.leite,charles.heringer,diogo.fernandes}@aluno.cefet-rj.br

Abstract. *Given the history and current statistics of fires in Brazil, this work analyzes the possibility of using artificial intelligence of things in fire detection, supported by embedded cognitive agents and communication via the IoT network. It differs from previous approaches by allowing dynamic adjustments to detection parameters without firmware reprogramming. Furthermore, a case study aims to show the positive impact of Multi-agent Systems for social good.*

Resumo. *Dado o histórico e as estatísticas atuais de incêndios no Brasil, este trabalho analisa a viabilidade do uso de inteligência artificial na detecção de incêndios, utilizando agentes cognitivos embarcados e comunicação via rede IoT. Diferencia-se de abordagens anteriores ao permitir ajustes dinâmicos nos parâmetros de detecção, sem reprogramação de firmware. Além disso, é apresentado um estudo de caso que visa demonstrar o impacto positivo dos Sistemas Multi-agente na segurança pública e prevenção de incêndios.*

1. Introdução

A segurança contra incêndios em ambientes residenciais, comerciais e industriais é um tema relevante para pesquisas em diversas áreas, dado que a história nacional é composta por vários infelizes incidentes, tais como o incêndio da boate Kiss, o incêndio no Gran Circus Norte-Americano, o incêndio do Edifício Joelma ou ainda o ocorrido no alojamento do Flamengo [Fernandes 2020]. Além disso, só no ano de 2020 foram registrados mais de 700 incêndios por dia no Brasil, segundo a Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP) [Folha Metropolitana 2023]. Sendo que, mais de 50% dos incêndios domésticos daquele ano foram causados por sobrecarga elétrica, segundo a Associação Brasileira de Conscientização dos Perigos da Eletricidade (Abracopel) [Gandra 2021].

O risco de incêndio faz parte do nosso cotidiano e tradicionalmente os sistemas de detecção de incêndio já atuam na mitigação desses riscos. A motivação deste trabalho é criar um sistema de alerta para combate ao incêndio, utilizando tecnologias avançadas para aumentar a segurança e minimizar danos. No entanto, os avanços na tecnologia permitem a evolução desses sistemas, e um dos desenvolvimentos mais notáveis é a possibilidade da integração da inteligência artificial (IA) na detecção de incêndios. De fato, os sensores de incêndio, impulsionados por IA, podem contribuir para o aprimoramento da precisão e eficiência desses sistemas. Por exemplo, em [Perilla et al. 2018] é apresentado um framework para integração de Internet das Coisas (IoT) a sistemas de segurança contra incêndio, uma revisão das possíveis tecnologias IoT aplicáveis para o cenário, além de

uma análise qualitativa (discussões em grupos específicos e entrevistas), para determinar os recursos IoT desejados para segurança contra incêndio. Já em [Mahzan et al. 2018] é apresentado um protótipo de alarme residencial de incêndio composto pela plataforma Arduino (ATmega328), sensor de temperatura LM35 e módulo GSM (*Global System for Mobile Communications*) capaz de enviar mensagem de alerta aos proprietários, em caso de detecção de calor acima de 40°C na residência. Por outro lado, em [Yadav and Rani 2020] é apresentado um sistema de alarme de incêndio baseado em Arduino capaz ativar um pulverizador de água para combater o fogo, quando os sensores detectam fumaça ou que a temperatura está acima de 104°F, além de notificar o proprietário via GSM.

Neste trabalho exploramos a convergência entre a tecnologia de detecção de incêndio e o paradigma da Inteligência Artificial das Coisas (*AI of things* - AIoT) [Zhang and Tao 2021], através de agentes cognitivos embarcados [Pantoja et al. 2016] para identificar ameaças de incêndio e otimizar o tempo de socorro. Diferente de [Mahzan et al. 2018] e [Yadav and Rani 2020], apresentamos uma comunicação via uma rede IoT, que permite a integração com outros sistemas cognitivos em execução em órgãos governamentais, possibilitando que os parâmetros de detecção de incêndio possam ser dinamicamente definidos por uma autoridade, sem a necessidade de reprogramação de firmware. Diferente de [Perilla et al. 2018], analisamos as tecnologias que permitem a construção de sistemas ciber-físicos usando o paradigma AIoT, gerenciados por agentes cognitivos, capazes de perceber e atuar no mundo físico. Por fim, visamos demonstrar o potencial impacto positivo do uso de Sistemas Multi-agente (SMA) na prevenção de incêndios.

2. Fundamentação Teórica

Um Sistema Multi-agente (SMA) é um grupo de entidades de software que apresentam um comportamento autônomo em um ambiente físico ou digital, baseado em suas percepções e em suas interações. Um *agente reativo* é aquele que apresenta um comportamento tipo estímulo-resposta, sem memória sobre interações ou percepções passadas, nem previsão sobre futuras. Por outro lado, um *agente cognitivo* é aquele que apresenta um comportamento baseado em organizações sociais (grupos, hierarquias, etc.), capazes de cooperar e competir com outros agentes do sistema [Sichman et al. 1992].

Um SMA Embarcado, por sua vez, é um sistema hospedado em um dispositivo IoT tal como um computador de placa única (Raspberry Pi, por exemplo) conectado diretamente a sensores e atuadores, permitindo que os agentes possam sentir e agir no mundo físico. Esses sistemas podem ser construídos seguindo uma arquitetura de quatro camadas, são elas: *hardware*, camada dos sensores e atuadores que efetivamente manifestam as ações SMA Embarcado no mundo físico; *firmware*, camada do microcontrolador que converte os dados brutos dos sensores, em crenças para os agentes; *interfaceamento*, camada que interliga o microcontrolador com o SMA hospedado no dispositivo IoT; e *raciocínio*, o habitat dos agentes cognitivos [Pantoja et al. 2016].

Um modelo útil na modelagem de agentes cognitivos é o *Belief-Desire-Intention* (BDI) [Bratman et al. 1988] que permite a utilização de *crença*, uma representação do conhecimento dos agentes sobre o ambiente; *desejo*, uma representação do estado do mundo que o agente quer atingir; e *intenção*, uma representação da sequência de ações que o agente se compromete a executar para atingir seus objeti-

vos [Hübner et al. 2004]. Para construir agentes cognitivos embarcados, baseados no modelo BDI, uma opção é utilizar *Jason*, uma linguagem de programação orientada a agentes [Bordini et al. 2005], adotada pelo *JasonEmbedded*, um framework específico para IoT e sistemas ciber-físicos [Pantoja et al. 2023], através do ambiente de desenvolvimento *chonIDE* [Souza de Jesus et al. 2023]. No desenvolvimento de AIoT com o *JasonEmbedded*, pode-se empregar agentes cognitivos com diferentes arquiteturas. Neste trabalho são utilizados os agentes BDI *Communicator* [de Jesus et al. 2019] e *Argo* [Pantoja et al. 2016]. O primeiro possui a capacidade de comunicação com agentes externos ao SMA em que se encontra, por meio de uma rede IoT. O segundo, por sua vez, consegue manipular gerenciar microcontroladores ATMEGA.

3. Proposta

Propomos um sistema de monitoramento de incêndio baseado em agentes cognitivos que integram residências e órgãos governamentais, por meio de uma rede Context-Net [Endler et al. 2011]. Em cada residência um SMA Embarcado com: i) agente *Argo* capaz de perceber com sensores de temperatura e fumaça, e atuar com alarme sonoro; ii) agente *Communicator* capaz de emitir alerta para o SMA do corpo de bombeiros. Em cada órgão governamental um SMA com um agente *Communicator*, capaz de alertar residências vizinhas ou solicitar apoio de outros órgãos, auxiliando na rápida resposta em caso de incidentes. Uma visão geral da integração dos SMA's é apresentada na Figura 1a.

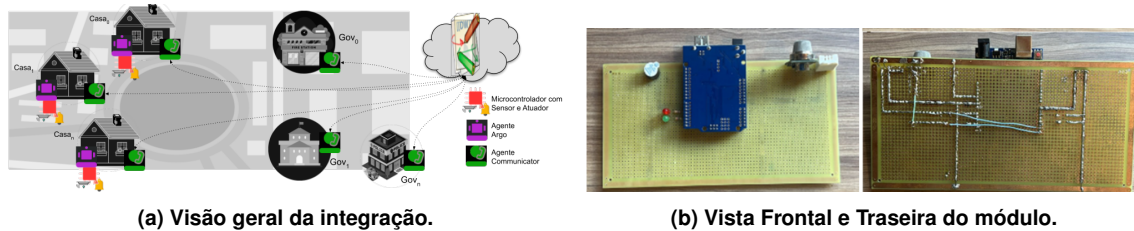


Figura 1. Detecção de Incêndio apoiada por agentes BDI embarcados.

Buscando viabilizar a proposta, foi construído um SMA Embarcado para ser utilizado nas residências. Na camada de *hardware*, conforme a Figura 1b, foi utilizado: 01 sensor de gás inflamável e fumaça (*MQ-02*), 01 sensor de temperatura (*RHT-03*), 01 buzzer (*5V ativo*) e 02 diodos emissores de luz (*LED*), um verde e um vermelho. Na camada de *firmware*, por sua vez, foi utilizado um microcontrolador *Arduino Uno R3*. Por fim, na camada de *interfaceamento* foi utilizada a biblioteca Javino [Lazarin and Pantoja 2015].

```

1 #include <Javino.h> /* https://github.com/chon-group/javino2arduino/releases/latest */
2 #include <DHT12.h> /* https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/dht12-sensor-library/ */
3 const int temp=4; const int fumaca=2; const int vermelho=5; const int verde = 3; const int buzzer=11; /* GPIO pin */
4 Javino javino; DHT12 dht12(temp, true);
5 void serialEvent(){ javino.readSerial(); }
6 void setup() {
7   javino.act["aviso"] = funcaoAviso;
8   javino.act["standby"] = funcaoStandby;
9   javino.perceive(getExogenousPerceptions);
10  javino.start(9600);
11  pinMode(temp, INPUT); pinMode(fumaca, INPUT); pinMode(buzzer, OUTPUT); pinMode(vermelho, OUTPUT); pinMode(verde, OUTPUT); }
12 void loop() { javino.run(); }
13 void getExogenousPerceptions(){
14   if(digitalRead(fumaca) == 0){ javino.addPercept("fumaca(false)"); } else{ javino.addPercept("fumaca(true)"); }
15   float temp = dht12.readTemperature(); javino.addPercept("temperatura("+String(temp)+")"); }
16 void funcaoAviso(){ digitalWrite(vermelho,HIGH); digitalWrite(verde,LOW); tone(buzzer, 1000); }
17 void funcaoStandby(){ digitalWrite(vermelho,LOW); digitalWrite(verde,HIGH); noTone(buzzer); }

```

Código-fonte 1. Módulo Sensor de Incêndio para SMA Embarcado.

Ao ligar o protótipo, o *LED* verde acenderá, indicando que os sensores estão em funcionamento. Simultaneamente, o microcontrolador começará a receber os dados do sensor de gás e fumaça e do sensor de temperatura. Se os valores recebidos ultrapassarem os limites estabelecidos no Código Fonte 1, o microcontrolador acionará o buzzer e o *LED* vermelho, sinalizando a ocorrência de um possível incêndio. O módulo construído informa duas crenças para o agente BDI: i) *fumaca(b)*, onde *b* é um termo (*true|false*); ii) *temperatura(N)*, onde *N* é um decimal de dois dígitos. Além disso, o módulo aceita dois comandos de atuação no ambiente: i) *aviso*, neste caso um alerta luminoso e sonoro é ativado; ii) *standby*, neste caso o led verde é ativado e o alerta desativado.

4. Estudo de Caso

Diferente de [Mahzan et al. 2018] e [Yadav and Rani 2020], nesta abordagem o firmware do módulo sensor não possui informações estáticas sobre os valores que definem quando há ou não um princípio de incêndio. Esses parâmetros são dinamicamente definidos pela autoridade responsável. Assim, o sistema é adaptável para qualquer região e ainda pode considerar mudanças de temperatura, nas diferentes estações do ano. Pois, ao iniciar a execução do SMA Embarcado, o agente comunicador busca os parâmetros atualizados.

Buscando avaliar a aplicação da proposta, consideramos um cenário de integração de uma casa inteligente e o corpo de bombeiros. A casa possui um SMA Embarcado equipado com um módulo de monitoramento de incêndio e dois agentes cognitivos, um para perceber a atuar no ambiente e outro para comunicar-se com as autoridades. O corpo de bombeiros, por sua vez, possui um SMA com um agente responsável pela orientação. Para a execução do cenário, utilizamos uma abordagem de simulação do ambiente exógeno do SMA Embarcado, conforme proposto por [Freitas et al. 2023]. Foram utilizadas duas máquinas virtuais, uma para executar o SMA da casa e outra o dos bombeiros.

A camada de *raciocínio* do SMA Embarcado é apresentada, através dos Códigos 2 e 3. No primeiro, um agente *Argo* possui apenas o objetivo inicial de executar o plano *perceber* que busca conectar-se ao microcontrolador e perceber o ambiente (*.percepts(open)*). Este plano é acionado depois de algum tempo, caso a porta serial não esteja disponível ou ele ainda não tenha recebido as configurações do corpo de bombeiros. No segundo, um agente *Communicator*, possui um objetivo inicial de executar o plano *buscarConfiguracoes* que envia mensagens ao SMA dos bombeiros, solicitando os planos para o sistema. Este agente possui ainda dois planos *novoPlano* e *novaCrenca* para retransmitir internamente as orientações dos bombeiros.

```

1  /* Crenca Inicial - use ttyACM0 ou ttyUSB0 para conectar a um Arduino real */
   serialPort(ttyEmulatedPort0).
3  /* Objetivo Inicial */
   !perceber.
5  /* Planos */
   +!perceber: serialPort(P) <- .abolish(port(P,_)); .port(P); .limit(750); .percepts(open).
7  +port(Port,Status): Status = off | Status = timeout <- .percepts(close); .wait(10000); !perceber.
   +port(Port,Status): Status = on & not configuracao(ok) <- .percepts(close); .wait(30000); !perceber.

```

Código-fonte 2. Raciocínio do agente *Argo* no SMA da casa inteligente.

```

bombeirosUUID("bcb38a40-8605-4f07-a94a-d96678498165"). /* Crenca Inicial */
2 !buscarConfiguracoes. /* Objetivo Inicial */
   /* Planos */
4 +!buscarConfiguracoes: bombeirosUUID(B) <- .connectCN("skynet.chon.group",5500,"efa435a4-42f5-4927-8d4b-2c77ce9e8eed");
   .sendOut(B,achieve,getConf(self,communicator)); .sendOut(B,achieve,getConf( agenteArgo, argo)).
6 +!novoPlano(Agente,Plano) [source(Externo)] <- .send(Agente,tellHow,Plano).
   +!novaCrenca(Agente,Crenca) [source(Externo)] <- .send(Agente,tell,Crenca).

```

Código-fonte 3. Raciocínio do agente *Communicator* no SMA da casa inteligente.

Na segunda máquina virtual executa o SMA do corpo de bombeiros. Neste, um agente *Communicator* possui um objetivo inicial de executar um plano de conexão à rede IoT (*connect*). Além desse, ele possui um plano *getConfig* com dois contextos distintos, para enviar ao solicitante os planos e crenças necessários, conforme o *Tipo* de arquitetura.

```

1  crençasPublicas([principioIncendio(49),standbyMSG("Online!"),incendioMSG("Alerta!"),bombeirosMSG("A caminho!"))].
   !connect.
   /* Objetivo Inicial */
3  /* Planos */
   +!connect <- .connectCN("skynet.chon.group",5500,"bcb38a40-8605-4f07-a94a-d96678498165").
5  +!getConfig(Agt,Tipo)[source(S)]: Tipo=arg0 & crençasPublicas(Info)<-
   !sendBelief(S,Agt,Info);
7  !sendPlan(S,Agt,"+!incidente <- .act(aviso); .broadcast(tell,incendio).");
   !sendPlan(S,Agt,"+!standby <- .act(standby); .broadcast(untell,incendio).");
9  !sendPlan(S,Agt,"+temperatura(T): principioIncendio(N) & T > N <- !incidente.");
   !sendPlan(S,Agt,"+temperatura(T): principioIncendio(N) & T<N & not fumaca(true) <- .broadcast(untell,incendio).");
11 !sendPlan(S,Agt,"+fumaca(false) <- .act(standby); .broadcast(untell,incendio).");
   !sendPlan(S,Agt,"+fumaca(true) <- !incidente.");
13 !sendPlan(S,Agt,"+port(Port,Status): Status = on & configuracao(ok)<- !standby.");
   !sendBelief(S,Agt,configuracao(ok)).
15 +!getConfig(Agt,Tipo)[source(S)]: Tipo=communicator & crençasPublicas(Info)<-
   !sendBelief(S,Agt,Info);
17 !sendPlan(S,Agt,"+!acionarBombeiros: bombeirosUUID(B) <- .sendOut(B,achieve,incendio).");
   !sendPlan(S,Agt,"+!incendio: incendioMSG(M) <- .print(M); !acionarBombeiros.");
19 +!sendBelief(Casa,Agente,Crenca) <- .sendOut(Casa,achieve,novaCrenca(Agente,Crenca)).
   +!sendPlan(Casa,Agente,Plano) <- .sendOut(Casa,achieve,novoPlano(Agente,Plano))
21 +!incendio[source(Casa)] <- .sendOut(Casa,tell,bombeirosAcaminho).

```

Código-fonte 4. Raciocínio do agente *Communicator* no SMA dos bombeiros.

A execução do cenário ocorreu de forma adequada demonstrando a possibilidade da aplicação de SMA Embarcados no contexto de combate e prevenção de incêndios. Buscando garantir a reprodutibilidade, uma página¹ está disponível com os fontes das diferentes camadas e um vídeo demonstrando o estudo de caso.

Os agentes cognitivos melhoram a detecção de incêndios ao usar sensores avançados e algoritmos de inteligência artificial para monitorar e analisar dados em tempo real, tomar decisões autônomas e estabelecer comunicação com outros sistemas. Capazes de reduzir falsos positivos e coordenar ações de resposta rápidas, como alertar ocupantes e acionar sistemas de supressão de incêndio, assim, eles contribuem para aumentar a precisão e eficiência na resposta às emergências, garantindo uma abordagem integrada.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou uma análise do uso das tecnologias de construção de agentes cognitivos embarcados no apoio a sistemas de detecção e prevenção de incêndios. Para tal, foi construído um módulo sensor de fumaça e temperatura, compatível com agentes BDI que utilizam a arquitetura *Argo*. Foi possível ainda, por meio de um estudo de caso, apresentar o potencial do uso de Sistemas Multi-agente no contexto de inteligência artificial para o bem-estar social. Trabalhos futuros podem explorar outros contextos, demonstrando a viabilidade da aplicação do modelo Belief-Desire-Intention, através do framework *JasonEmbedded* e do ambiente de desenvolvimento *ChonIDE*, no paradigma de Inteligência Artificial das Coisas, através da construção de dispositivos cognitivos.

Referências

- Bordini, R. H., Hübner, J. F., and Vieira, R. (2005). *Jason and the Golden Fleece of Agent-Oriented Programming*, pages 3–37. Springer US, Boston, MA.
- Bratman, M. E., Israel, D. J., and Pollack, M. E. (1988). Plans and resource-bounded practical reasoning. *Computational Intelligence*, 4(3):349–355.

¹<https://papers.chon.group/WESAAC/2024/deteccaoIncendio/>

- de Jesus, V. S., Manoel, F. C. P., and Pantoja, C. E. (2019). Protocolo de interação entre SMA embarcados bio-inspirado na relação de predatismo. In *Anais do WESAAC 2019*, pages 95–106, Florianópolis. UFSC.
- Endler, M., Baptista, G., Silva, L. D., Vasconcelos, R., Malcher, M., Pantoja, V., Pinheiro, V., and Viterbo, J. (2011). ContextNet: context reasoning and sharing middleware for large-scale pervasive collaboration and social networking. In *Proceedings of Middleware '11*, Lisbon. ACM.
- Fernandes, V. (2020). Os 15 maiores incêndios do Brasil | Tragédias que marcaram.
- Folha Metropolitana (2023). Brasil tem mais de nove incêndios por hora.
- Freitas, B. P. T., Lazarin, N. M., and Pantoja, C. E. (2023). Uma Proposta de Emulador de Portas Seriais para Sistemas Multiagentes Embarcados. In *Anais do WESAAC 2023*, pages 55–66, Pelotas. UFPel.
- Gandra, A. (2021). Sobrecarga elétrica causa mais de 50% dos incêndios domésticos.
- Hübner, J. F., Bordini, R. H., and Vieira, R. (2004). Introdução ao desenvolvimento de sistemas multiagentes com Jason. In *Anais da XII Escola de Informática da SBC*.
- Lazarin, N. M. and Pantoja, C. E. (2015). A robotic-agent platform for embedding software agents using raspberry pi and arduino boards. In *Anais do WESAAC 2015*, pages 13–20, Niterói. UFF.
- Mahzan, N. N., Enzai, N. I. M., Zin, N. M., and Noh, K. S. S. K. M. (2018). Design of an Arduino-based home fire alarm system with GSM module. *Journal of Physics: Conference Series*, 1019(1):012079.
- 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. BRACIS 2023*, pages 382–396, Cham. Springer Nature Switzerland.
- 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. EMAS 2016*, pages 136–155, Cham. Springer.
- Perilla, F. S., Villanueva, G. R., Cacanindin, N. M., and Palaoag, T. D. (2018). Fire Safety and Alert System Using Arduino Sensors with IoT Integration. In *Proceedings of ICSCA'18*, page 199–203, Kuantan Malaysia. ACM.
- Sichman, J. S., Demazeau, Y., and Boissier, O. (1992). When can knowledge-based systems be called agents? In *Anais do SBIA 92*, pages 172–185, Rio de Janeiro. SBC.
- 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 *The PAAMS Collection*, pages 346–358, Cham. Springer.
- Yadav, R. and Rani, P. (2020). Sensor Based Smart Fire Detection and Fire Alarm System. In *Proceedings of AdChE 2020*, UPES, Dehradun, India.
- 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.