

Sistema Multiagente para Triagem de Pacientes com Base em Indicadores de Saúde

Danilo Romoaldo, Guilherme das Virgens, Diego Castro, Carlos Pantoja

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro (Cefet-RJ)

[danilo.romoaldo, guilherme.virgens]@aluno.cefet-rj.br

[diego.castro, pantoja]@cefet-rj.br

Resumo. A triagem é essencial em emergências médicas, pois prioriza o atendimento ao paciente de acordo com a gravidade de suas condições. No entanto, emergências frequentemente apresentam um alto volume de atendimentos diários, resultando em atrasos na triagem. Sistemas multiagentes (SMA) são entidades autônomas que se envolvem e colaboram para abordar questões complexas, como a triagem. Este estudo apresenta um experimento utilizando SMA para triagem de pacientes, empregando marcadores de saúde como idade, frequência cardíaca, temperatura corporal e saturação de oxigênio. O sistema integra hardware (Arduino) e software (AgentSpeak/Jason) para coletar e analisar dados por meio de equações simplificadas, com o objetivo de ilustrar sua eficácia em cenários de priorização. O foco acadêmico do projeto é enfatizado, sem a intenção de substituir práticas médicas reais.

Abstract. Triage is essential in medical emergencies, as it prioritizes patient care according to the severity of their conditions. Nonetheless, emergencies frequently exhibit a high volume of daily visits, resulting in delays in triage. Multi-agent systems (MAS) are autonomous entities that collaborate to address complex issues, such as triage. This study presents an experiment utilizing MAS for patient triage, employing health markers including age, heart rate, body temperature, and oxygen saturation. The system integrates hardware (Arduino) and software (AgentSpeak/Jason) to gather and analyze data via simplified equations, with the objective of illustrating its efficacy in prioritization scenarios. The project's academic focus is emphasized, with no aim to replace real medical practices.

1. Introdução

A triagem médica pode ser entendida como um processo de análise do estado de saúde dos pacientes que possibilita estabelecer uma ordem de prioridade para o seu atendimento, garantindo que pacientes com condições mais graves recebam atendimento primeiro [Soares et al. 2023]. Neste processo, verificam-se dados como ritmo cardíaco, pressão arterial, frequência respiratória, temperatura do corpo, entre outros, com a finalidade de prestar um primeiro atendimento ao usuário [Soares et al. 2023].

Hospitais de pronto atendimento ou emergência normalmente são caracterizados por demora no atendimento, devido a grande quantidade de pacientes que buscam

atendimento emergencial [Pegoraro 2019, Brasil et al. 2020]. Tecnologias já estão sendo utilizadas para diminuir essa demora nos atendimentos, sendo empregadas ferramentas de telemedicina, aplicativos móveis para agendamento de consultas, e sistemas para gerenciamento de filas de atendimento [Gimenez and Stebel 2022].

Sistemas Multiagentes (SMA) são definidos como entidades autônomas capazes de pensar, tomar decisões de maneira autônoma e cooperar com outros agentes quando necessário para entender o contexto que estão inseridos com o objetivo de solucionar problemas complexos [Cardoso and Ferrando 2021]. Trabalhos recentes já demonstram a utilização de SMAs em processos de triagem da Covid-19 [Lopes et al. 2020], demonstrando bons resultados.

Portanto, o propósito deste estudo é apresentar uma experiência focada em automatizar a triagem de pacientes, atuando como uma espécie de pré-triagem. Para isso, utiliza-se SMAs para processar dados clínicos obtidos do Arduino e processados por meio de equações simplificadas escritas na linguagem AgentSpeak na plataforma Jason [Pantoja et al. 2016]. Essa plataforma foi escolhida devido à sua facilidade de comunicação entre *hardware* e *software*.

É fundamental destacar que este estudo possui um caráter exclusivamente acadêmico, tendo como principal finalidade a exploração e aplicação da tecnologia de sistemas multiagentes. O modelo proposto não se destina a substituir processos de triagem conduzidos por profissionais da saúde, tampouco se fundamenta em critérios médicos validados. Os valores e a equação utilizados para determinar a prioridade são arbitrários, definidos apenas com o propósito de testar e demonstrar o funcionamento da abordagem multiagente no contexto empregado.

2. Fundamentação teórica

O processo de triagem começou a ser utilizado na Revolução Francesa, onde o método tinha o objetivo de identificar rapidamente os soldados que estavam mais feridos para dar prioridade de atendimento [Coutinho et al. 2012]. Desde lá, esse processo foi aprimorado mas continuou com o mesmo princípio, identificar pacientes com enfermidades mais graves para dar prioridade de atendimento. A triagem convencional começa com o relato do paciente, que detalha sua enfermidade, informa sua idade e mede seus batimentos cardíacos, temperatura e oxigenação do sangue, podendo incluir outros procedimentos [Oliveira et al. 2020].

Cada fase da triagem tem sua relevância para determinar a prioridade do paciente. O relato da enfermidade visa obter mais detalhes sobre os sintomas do paciente, a fim de categorizá-los. Da mesma forma que a idade procura determinar se o paciente pertence a um grupo de idade mais avançada ou de início de vida, sendo estes dois os mais arriscados [Coutinho et al. 2012]. A frequência cardíaca visa entender se o paciente possui histórico de problemas no coração, como taquicardia ou bradicardia. Taquicardia é o valor elevado dos batimentos cardíacos, enquanto a bradicardia é caracterizado pelo batimento cardíaco a um nível mais baixo [Gambetta and da Costa 2014], sendo esses dois considerados mais graves.

A temperatura corporal busca compreender se o paciente está com febre, podendo até mesmo alcançar níveis mais graves, como hipertermia ou hipotermia. Hipertermia

é o aumento anormal da temperatura corporal, e a hipotermia é a queda da temperatura corporal [Braga et al. 2014]. Nesses dois casos, há um nível extremo de perigo, onde é necessário ser priorizado o atendimento do paciente. Já a oxigênio no sangue, visa verificar se o paciente está sofrendo de problemas respiratórios graves, o que é denominado de hipoxia, o que se tornou comum durante a pandemia do covid-19 [Oliveira et al. 2020], devido ao grande número de paciente afetados. Hipoxia é uma condição em que os tecidos do corpo não recebem oxigênio suficiente [Melo et al. 2009], oferecendo grandes riscos à saúde.

3. Desenvolvimento

O sistema proposto integra um Arduino com *LCD Keypad Project*, responsável por fornecer uma interface visual interativa com o usuário, permitindo a exibição das informações inseridas de forma clara e acessível. Por meio de um teclado acoplado ao dispositivo, o usuário pode inserir indicadores de saúde e parâmetros clínicos, enquanto visualiza, em tempo real, os dados digitados no *display LCD*.

Para o processo de implementação e validação do sistema, foram empregados tanto *hardware* físico, representado pelo Arduino, quanto ferramentas de simulação, como o SimulIDE [Puji and Astuti 2022]. Esta estratégia foi empregada para tirar proveito das vantagens da dos dois mundos, utilizando a agilidade da prototipagem para validar a lógica de funcionamento inicial, enquanto o *hardware* foi empregado para confirmar o funcionamento do sistema em situações reais, assegurando que o comportamento simulado persista na prática.

O sistema utilizou uma série de LEDs para sinalizar a representação de variados estados ou graus de prioridade. As cores verde, amarelo e vermelho simbolizam os níveis de prioridade de baixa, média e alta, respectivamente. As figuras 1 e 2 demonstram a parte física do projeto.

Uma vez o *hardware* definido, a biblioteca Javino [Junger et al. 2016] foi utilizada com o propósito de viabilizar a comunicação de dados entre o *hardware* e os agentes, possibilitando a inserção dos valores de idade, frequência cardíaca, temperatura corporal e saturação de oxigênio no sangue por meio de um teclado conectado ao Arduino. A partir da inserção dessas informações pelo usuário, elas são armazenadas na memória do primeiro agente, que estabelece uma conexão direta com o *hardware* e repassa as informações ao segundo agente do sistema, encarregado de avaliar e atribuir prioridades aos valores registrados.



Figure 1. Hardware físico.

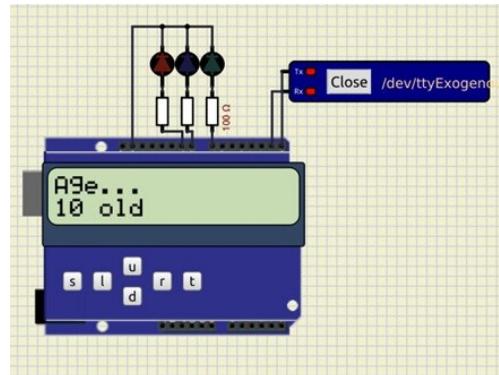


Figure 2. SimulIDE.

O primeiro agente tem a função de estabelecer a comunicação entre o Javino e o segundo agente que faz a triagem. Ele estabelece a conexão na porta serial e expõe as percepções do agente. À medida que novas percepções são coletadas e os valores são guardados e renovados na memória dos agentes, esses valores são apresentados no console do ambiente de desenvolvimento em tempo real, enquanto o usuário insere os dados no Arduino.

O segundo agente é responsável pela atribuição de prioridade com base nos valores inseridos pelo usuário. O agente denominado "enfermeira" estabelece a pontuação de prioridade para cada um desses indicadores, considerando diferentes níveis de gravidade. Após a análise, o agente calcula o percentual de prioridade e exibe no LCD do arduino um valor médio representativo de todos os parâmetros coletados. Esse processo segue uma lógica estruturada, atribuindo pesos e níveis de prioridade de acordo com a gravidade dos casos.

A ponderação de valores baseia-se em um critério de urgência para cada indicador de saúde recolhido, levando em conta os limites críticos que indicam um perigo iminente para a vida do paciente [Soares et al. 2023]. Para a realização da experimentação, foram elaborados cálculos básicos, baseando-se no percentual de prioridade baseado nas 4 informações a serem fornecidas pelos usuários, cuja soma total representa 100%, e cada uma delas foi igualmente ponderada com um peso de 0,25. Cada indicador é classificado em uma escala de valores predefinidos: 0, 25, 50, 75, 100 e 150, os quais determinam o nível de prioridade e risco associado a cada parâmetro de saúde. O valor máximo de 150 foi intencionalmente atribuído acima de 100 para ampliar seu impacto e elevar o peso final em casos de urgência. Essa estratégia visa evitar situações em que um indivíduo X, apresentando um indicador crítico e risco de vida, tenha uma prioridade inferior a um indivíduo Y, cuja idade seja mais avançada, mas cujos parâmetros de saúde estejam dentro de um nível moderado, resultando em uma média ponderada mais alta. A seguir, cada um dos parâmetros de entrada dos agentes serão descritos em mais detalhes, sendo eles: idade, frequência cardíaca, temperatura corporal e saturação de oxigênio no sangue.

Para a variável de idade, foram utilizados 2 grupos de alto risco, bebês e idosos, que recebem uma prioridade de 100 pontos. Vale destacar que a idade não recebeu nenhuma pontuação de 150, por não ser considerada alto risco. As pontuações utilizadas para variável de idade são:

- Menor que 1 ano: 100 pontos (alta prioridade)
- Entre 1 e 11 anos: 75 pontos (média prioridade)
- Entre 12 e 49 anos: 50 pontos (baixa prioridade)
- Entre 49 e 60 anos: 75 pontos (média prioridade)
- Acima de 60 anos: 100 pontos (alta prioridade)

Foram utilizados 8 níveis para classificar a frequência cardíaca, compostos por 3 grandes níveis: normal, taquicardia e bradicardia, sendo estes dois últimos pontuados com 150 em seus níveis mais graves, devido ser considerado alto risco ao paciente. Os valores utilizados seguiram padrões simples da tabela referencial de frequência cardíaca [Paschoal et al. 2006].

- Entre 60 e 100 batimentos: 0 pontos (Normal)
- Entre 101 e 120 batimentos: 25 pontos (Taquicardia leve)
- Entre 121 e 140 batimentos: 50 pontos (Taquicardia moderada)
- Entre 141 e 180 batimentos: 75 pontos (Taquicardia grave)
- Acima de 180 batimentos: 150 pontos (Taquicardia extrema)
- Entre 59 e 50 batimentos: 25 pontos (Bradicardia leve)
- Entre 49 e 40 batimentos: 50 pontos (Bradicardia moderada)
- Abaixo de 40: 150 pontos (Bradicardia grave)

Foram utilizados 6 níveis para classificar a temperatura corporal, compostos por 4 grandes níveis: normal, febre, hipertermia e hipotermia, sendo estes dois últimos pontuados com 150 em seus níveis mais graves, devido ser considerado alto risco ao paciente. As figuras 3 e 4 demonstram o simulador do experimento apresentando os resultados das variáveis de frequência cardíaca e temperatura corporal. Todos os valores utilizados seguiram padrões simples da tabela referencial de temperatura corporal [da Silveira Suldovski et al. 2021, Geneva et al. 2019].

- Entre 36 e 37.5 graus: 0 pontos (Normal)
- Entre 37.5 e 39.5 graus: 25 pontos (Febre)
- Entre 39.5 e 41 graus: 50 pontos (Febre alta)
- Acima de 41 graus: 150 pontos (Hipertermia)
- Entre 35.9 e 35 graus: 25 pontos (Hipotermia leve)
- Abaixo de 35 graus: 150 pontos (Hipotermia)

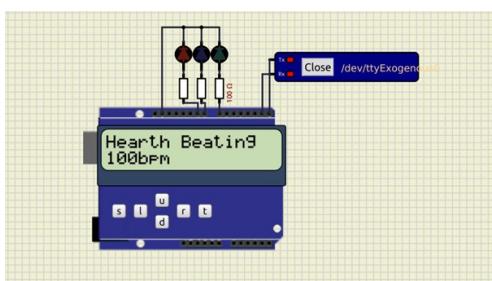


Figure 3. SimulIDE demonstrando a variável de frequência cardíaca.

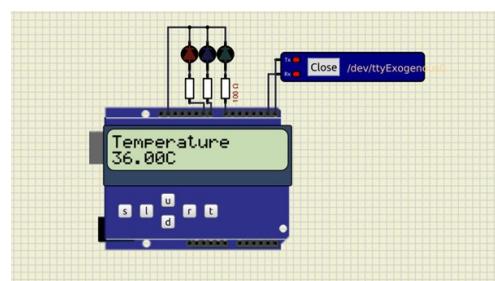


Figure 4. SimulIDE demonstrando a variável de temperatura corporal.

Foram utilizados 6 níveis para classificar a saturação de oxigênio no sangue, compostos por 2 níveis: normal e hipóxia. Todos os valores utilizados seguiram padrões

simples da tabela referencial de saturação de oxigênio no sangue [Majumdar et al. 2011, Matcher et al. 2009].

- Entre 95% e 100%: 0 pontos (Normal)
- Entre 94% e 91%: 25 pontos (Hipóxia leve)
- Entre 90% e 86%: 50 pontos (Hipóxia moderada)
- Abaixo de 86%: 150 pontos (Hipóxia severa)

Para aplicar o valor de prioridade, foi criada uma equação em duas partes. A primeira multiplica o valor dos pontos de cada elemento por 0.25, com o objetivo espelhar o efeito relativo de cada variável no estado geral do paciente. A segunda parte, adiciona-se um fator extra, que corresponde à média simples dos valores digitados pelo usuário para cada uma das quatro variáveis, dividido por 100. Esta parte visa estabelecer uma distinção mais precisa entre pacientes com pontos parecidos, possibilitando a distinção de situações críticas mesmo dentro de níveis de prioridade próximos. A fórmula utilizada pelos agentes pode ser observada a seguir:

$$P = (pontuacao_idade \times 0,25) + (pontuacao_batimento \times 0,25) + (pontuacao_temperatura \times 0,25) + (pontuacao_saturacao \times 0,25) + \frac{idade + batimento + temperatura + saturacao}{100}$$

4. Considerações Finais

Este estudo mostra como a combinação de hardware embarcado (Arduino) e agentes inteligentes (Jason) pode ser empregada de maneira eficiente na automação da triagem médica, mesmo que de maneira experimental e acadêmica. O uso de uma equação simplificada, fundamentada em pontuações e ponderações estabelecidas, possibilita ao profissional de saúde determinar de forma ágil a prioridade média entre diversos pacientes, proporcionando uma pré-seleção objetiva e reproduzível. A combinação de simulação (por meio do SimulIDE) com hardware real permitiu a validação da lógica e da implementação prática do sistema. Apesar dos critérios empregados não substituirem protocolos médicos reais, a proposta demonstra a capacidade dos Sistemas Multiagentes de auxiliar decisões em contextos críticos, como os de atendimento emergencial.

References

- Braga, F. C., Santos, A. R. C., Castro, N. B. d., Nunes, M. M., Lopes, M. V. d. O., and Silva, V. M. d. (2014). Acurácia dos indicadores clínicos dos diagnósticos de enfermagem hipertermia e hipotermia em recém-nascidos. *Rev. Rene*, 15(5):789–795.
- Brasil, T. C., da Costa, A. E. K., and Lohmann, P. M. (2020). Avaliação do atendimento de urgências e emergências em uma unidade de atenção primária de um município de pequeno porte do interior do vale do taquari. *Research, Society and Development*, 9(7):e595974593–e595974593.
- Cardoso, R. C. and Ferrando, A. (2021). A review of agent-based programming for multi-agent systems. *Computers*, 10(2):16.

- Coutinho, A. A. P., Cecílio, L. C. d. O., and Mota, J. A. C. (2012). Classificação de risco em serviços de emergência: uma discussão da literatura sobre o sistema de triagem de manchester. *Rev Med Minas Gerais*, 22(2):188–98.
- da Silveira Suldovski, E. G., de Campos, A. L., da Silva Filho, C. R., and De Oliveira, S. A. C. (2021). Monitoramento de frequência cardíaca e temperatura de forma remota de pacientes fora de risco de vida. *REVISTA DE EXTENSÃO E INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNISOCIESC*, 8(2).
- Gambetta, M. V. and da Costa, F. R. (2014). Implante de marcapasso cardíaco definitivo em paciente com síndrome bradicardia-taquicardia, transplantado renal e com persistência de veia cava superior esquerda: Implante de marcapasso cardíaco definitivo em paciente com síndrome bradicardia-taquicardia, transplantado renal e com persistência de veia cava superior esquerda. *Journal of Cardiac Arrhythmias*, 27(2):111–114.
- Geneva, I. I., Cuzzo, B., Fazili, T., and Javaid, W. (2019). Normal body temperature: a systematic review. In *Open forum infectious diseases*, volume 6, page ofz032. Oxford University Press US.
- Gimenez, R. M. and Stebel, S. L. (2022). Telemedicina aplicada na triagem remota de pacientes para reduzir filas em estabelecimentos de saúde telemedicine applied on remote triage of patients to reduce queues in health establishments. *Brazilian Journal of Development*, 8(4):24795–24812.
- Junger, D., da Silva, J. V. G., and Pantoja, C. E. (2016). An analysis of javino middleware for robotic platforms using jason and jade frameworks. In *Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações (WESAAC)*, pages 163–168. SBC.
- Lopes, L., Pinto, F., and de Brito, R. (2020). Sistema inteligente de apoio a decisão no processo de triagem de pacientes com suspeita do covid-19. In *Escola Regional de Computação do Ceará, Maranhão e Piauí (ERCEMAPI)*, pages 220–227. SBC.
- Majumdar, S., Eurich, D., Senthilselvan, A., Gamble, J., and Marrie, T. (2011). Oxygen saturations less than 92events in outpatients with pneumonia: a population-based cohort study. *Clinical infectious diseases : an official publication of the Infectious Diseases Society of America*, 52 3:325–31.
- Matcher, S., Thorn, C. E., Shore, A., and Meglinski, I. (2009). Is mean blood saturation a useful marker of tissue oxygenation? *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 296 5:H1289–95.
- Melo, D., Oliveira, D., Melo, M., Júnior, D., Teixeira, E., and Guimarães, S. (2009). Perfil proteico de tilápia nilótica chitralada (*oreochromis niloticus*), submetida ao estresse crônico por hipóxia. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 61:1183–1190.
- Oliveira, B. D. D., Khoury, S. H., Martins, V. G., de Sousa Arnaud, F. C., Gaspardi, A. C., and Rabêlo, D. R. V. (2020). Triagem e adequação do fluxo de pacientes no departamento de emergência de um hospital terciário durante a pandemia de covid-19: relato de experiência. *Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia*, 8(3):185–189.

- Pantoja, C. E., Stabile Jr, M. F., Lazarin, N. M., and Sichman, J. S. (2016). Argo: An extended jason architecture that facilitates embedded robotic agents programming. In *International workshop on engineering multi-agent systems*, pages 136–155. Springer.
- Paschoal, M., Volanti, V., Pires, C., and Fernandes, F. (2006). Variabilidade da freqüência cardíaca em diferentes faixas etárias. *Brazilian journal of physical therapy*, 10:413–419.
- Pegoraro, F. (2019). Alternativas para redução do tempo de espera por atendimento de urgência e emergência em um hospital público no município de Gurupi-TO. *RANK, RCIC; XAVIER, MP; MATTOS, P; H; C. Território de Desenvolvimento Regional: Abordagem Multidisciplinar da Região Sul do Tocantins. Goiânia (GO): Kelps.*
- Puji, M. N. and Astuti, W. (2022). Simulation of low-frequency sine wave generator with dds method based on arduino uno using simulide simulator. In *2022 8th International Conference on Education and Technology (ICET)*, pages 112–117. IEEE.
- Soares, J. V. M., Pinto, N. R. F., and Meireles, M. R. G. (2023). Desenvolvimento de um aplicativo de triagem médica baseado no protocolo de manchester. *PISTA: Periódico Interdisciplinar [Sociedade Tecnologia Ambiente]*, 5(1):182–208.