

# Da cognição às cadeias de Markov: modelando a atenção e suas implicações no TDAH

*From cognition to Markov chains: modeling attention and its implications for ADHD*

*De la cognición a las cadenas de Markov: modelando la atención y sus implicaciones en el TDAH*

Natali Lourenço Nascimento<sup>1</sup>

1.Mestranda do Departamento de Psicologia Experimental, Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7905-1171>

## Resumo

O presente ensaio se propõe a discutir a natureza dinâmica e transitória dos processos atencionais e, como ele nos fornece grandes chances de correlações com fatores relacionados a transição de estados, que podem ser modelados através de processos estocásticos semelhantes a uma cadeia de Markov. As probabilidades de transição dependendo das condições e contextos atuais da atenção, reforçam a semelhança com tais processos. Embora esses conceitos ressoem com os teoremas da cadeia de Markov, ainda existem lacunas quando consideramos os processos de atenção atípicos como o Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), devido às transições rápidas entre estados e à sensibilidade a estímulos salientes, necessitando de maiores investigações para o tema e suas possíveis vantagens para a introdução de modelos de inteligência artificial na aprendizagem remota, considerando algoritmos voltados a visão computacional e técnicas de processamento de imagem. Assim sendo, a correlação e testes para estas hipóteses podem auxiliar uma experiência de aprendizagem mais personalizada e adaptativa aos alunos.

**Unitermos.** Mecanismos atencionais; Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH); Processos estocásticos; Cadeia de Markov; Transições de estados; Neurociência cognitiva

## Abstract

This essay aims to discuss the dynamic and transient nature of attentional processes and how it provides us with significant opportunities for correlations with factors related to state transitions, which can be modeled through stochastic processes similar to a Markov chain. The transition probabilities depending on current attentional conditions and contexts reinforce the similarity to such processes. Although these concepts resonate with Markov chain theorems, there are still gaps when considering atypical attentional processes such as Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD), due to rapid transitions between states and sensitivity to salient stimuli, requiring further investigation into the topic and its potential advantages for the introduction of artificial intelligence models in remote learning, considering algorithms focused on computer vision and image processing techniques. Therefore, correlation and testing for these hypotheses can assist in a more personalized and adaptive learning experience for students.

**Keywords.** Attentional mechanisms; Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD); Stochastic processes; Markov chain; State transitions; Cognitive neuroscience

## Resumen

Este ensayo tiene como objetivo discutir la naturaleza dinámica y transitoria de los procesos atencionales y cómo nos brinda importantes oportunidades para correlacionar con factores relacionados con las transiciones de estados, que pueden ser modeladas a través de procesos

estocásticos similares a una cadena de Markov. Las probabilidades de transición dependiendo de las condiciones y contextos atencionales actuales refuerzan la similitud con tales procesos. Aunque estos conceptos resuenen con los teoremas de la cadena de Markov, aún existen brechas al considerar los procesos atencionales atípicos como el Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH), debido a las transiciones rápidas entre estados y la sensibilidad a estímulos llamativos, lo que requiere una mayor investigación sobre el tema y sus posibles ventajas para la introducción de modelos de inteligencia artificial en el aprendizaje remoto, considerando algoritmos centrados en visión por computadora y técnicas de procesamiento de imágenes. Por lo tanto, la correlación y prueba de estas hipótesis pueden ayudar en una experiencia de aprendizaje más personalizada y adaptativa para los estudiantes.

**Palabras clave.** Mecanismos atencionales; Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH); Procesos estocásticos; cadena de Markov; transiciones de estado; Neurociencia Cognitiva

---

Trabalho realizado no Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, Brasil.

Conflito de interesse: não

Recebido em: 19/08/2023

Aceito em: 21/05/2024

**Endereço para correspondência:** Natali Lourenço Nascimento. São Paulo-SP, Brasil. Email: [natali.loureco.nasc@gmail.com](mailto:natali.loureco.nasc@gmail.com)

---

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a psicologia cognitiva e a neurociência cognitiva têm presenciado um progresso significativo no estudo da atenção, que se destaca como um campo em constante expansão<sup>1</sup>. Tanto o estado de alerta, orientação e atenção executiva, apresentam um estado dinâmico e transitório<sup>2</sup>. Sendo assim, é possível inferir que esses processos estão ligados a transições de estados que podem ser modeladas de forma semelhante a uma cadeia de Markov, onde as probabilidades de transição dependem das condições e contextos atuais<sup>1,3,4</sup>.

Já a atenção atua na regulação de diversas redes cerebrais por meio de mecanismos atencionales, afetando diretamente o estado de alerta, a orientação e o processo executivo da atenção<sup>1</sup>. Enquanto alertar é definido como alcançar e manter um estado de alta sensibilidade em relação aos estímulos recebidos, orientar envolve selecionar informações a partir das entradas sensoriais, ao passo que,

a atenção executiva utiliza mecanismos para monitorar e resolver conflitos entre pensamentos, sentimentos e respostas<sup>1</sup>.

O processo de orientação envolve alinhar a atenção com uma fonte de sinais sensoriais<sup>5</sup>. Isso pode ocorrer de maneira explícita, quando os movimentos oculares acompanham os movimentos de atenção, ou de forma implícita, sem nenhum movimento ocular<sup>5</sup>.

O sistema de direcionamento para eventos visuais envolve áreas cerebrais posteriores, como o lobo parietal superior, a junção tâmporo-parietal e os campos oculares frontais<sup>5</sup>. A atenção pode ser direcionada para uma área específica por meio da apresentação de uma pista que indica a provável localização de um alvo<sup>1</sup>.

Utilizando ressonância magnética funcional, é possível identificar mudanças no fluxo sanguíneo em resposta a estímulos específicos, como pistas e alvos<sup>6</sup>. Quando a atenção é realocada para uma nova localização, há atividade na junção temporo-parietal<sup>1,7</sup>. O controle executivo da atenção é comumente investigado por meio de tarefas de conflito, como a tarefa de *Stroop*, onde os participantes devem identificar a cor da tinta, ignorando o nome da cor da palavra<sup>8,9</sup>.

## DISCUSSÃO

Liechty *et al.* (2003) apontam uma forte relação entre a atenção visual explícita e implícita<sup>10</sup>. A atenção visual explícita refere-se aos movimentos dos olhos em resposta a

estímulos espaciais, enquanto a atenção visual implícita é descrita como um foco mental que direciona a atenção para locais específicos<sup>10</sup>. Mudanças na atenção visual ocorrem quando alteramos a localização espacial de nosso foco de atenção<sup>11</sup>. Os movimentos oculares em resposta a estímulos estáticos podem ser categorizados em sacadas, movimentos rápidos e diretos durante os quais a visão é suprimida, e fixações, períodos de pausa entre as sacadas, durante os quais a extração de informações ocorre<sup>10,11</sup>. O controle desses movimentos é atribuído ao colículo superior (SC) no cérebro humano<sup>11</sup>.

Durante a exposição a um estímulo visual, ocorrem sequências regulares de fixações, conhecidas como caminhos de varredura<sup>12</sup>. Estudos indicam que essa varredura visual é resultado da interação de dois processos neurais: o processo do "vencedor leva tudo" e o processo de "inibição do retorno"<sup>11,12</sup>. Esses processos estão relacionados à saliência do estímulo, que é codificada em diferentes regiões do sistema visual, especialmente no SC e no córtex parietal posterior (PPC)<sup>11</sup>.

O processo do "vencedor leva tudo" na competição por atenção direciona a atenção para a região mais saliente, temporariamente inibindo-a após o processamento para evitar verificação repetitiva<sup>11,12</sup>. A atenção então se desloca para a próxima região saliente, formando um padrão de fixações e sacadas ao longo do estímulo<sup>11,12</sup>. Os caminhos de atenção visual seriam explicados com maior acurácia por um processo estocástico de Markov de primeira ordem,

sugerindo que os caminhos de varredura seguem um padrão uniforme durante a exposição a um estímulo<sup>12</sup>. No entanto, há indícios de que as pessoas alternam entre dois estados distintos de atenção implícita ao explorar estímulos visualmente complexos, resultando em diferentes padrões de movimentos oculares<sup>10,11</sup>.

Nos estudos sobre atenção, o foco principal está na compreensão do processo de atenção implícita, incluindo o tempo que os participantes se dedicam a estados locais e globais de atenção, bem como as probabilidades de transição entre esses estados<sup>1,10</sup>.

A aplicação da lógica em relação ao processo atencional pode ser resumida em três teoremas: O Teorema da Convergência sugere que, ao longo do tempo, a atenção tende a se estabilizar e se concentrar em estímulos relevantes, permitindo um direcionamento seletivo e adaptativo<sup>3,7,13</sup>. O Teorema da Recorrência e Transitoriedade indica que o processo atencional envolve estados recurrentes e transitórios, com certos estímulos mais salientes atraindo repetidamente a atenção<sup>3,12,13</sup>. Por fim, o Teorema da Decomposição de Chapman-Kolmogorov propõe que a atenção do indivíduo pode ser vista como uma sequência de eventos atencionais discretos, nos quais a atenção se move de um estímulo para outro, cada um representando um passo na sequência<sup>10,12,13</sup>.

Embora os três teoremas façam sentido em relação ao processo de atenção típica, considerando ainda que, podem ser utilizados dados de imersão para cada tipo de

pensamento e variabilidade do tempo de resposta (RTV) como entrada para o modelo de HMM, determinando o número de estados ocultos usando o critério de informação bayesiano (BIC) e a análise de correlação para examinar como os estados estimados que se relacionam com outras medidas<sup>13</sup>. Parece haver uma escassez de estudos focados na aplicação desses conceitos em pessoas com atenção atípica, como no caso do TDAH.

Indivíduos com TDAH têm dificuldades na atenção sustentada em comparação com aqueles sem TDAH<sup>14</sup>. Incluindo o aprimoramento ineficiente de alvos e supressão alterada de distratores<sup>14</sup>. Pesquisas com crianças e adultos com TDAH mostraram problemas de atenção sustentada, relacionados à memória operacional e controle inibitório<sup>14,15</sup>.

As diferenças neurobiológicas em pessoas com TDAH contribuem para desafios de atenção, incluindo dificuldades em manter o foco ao longo do tempo e em tarefas que exigem flexibilidade cognitiva, onde são vistos padrões distintos de atividade pupilar durante a atenção visual sustentada, possivelmente relacionados à regulação do Locus Coeruleus (LC) e à influência do córtex por meio de projeções catecolaminérgicas nos núcleos de Edinger-Westphal<sup>14,15</sup>.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Muitos estudos ainda devem ser realizados considerando o potencial do modelo oculto de Markov (HMM) para a modelagem da atenção, principalmente na área da

educação, como por exemplo, medir o nível de concentração dos alunos em ambientes de aprendizagem remota, através de técnicas de processamento de imagens e visão computacional, por meio da integração da Inteligência Artificial (IA) nas aulas e como ela pode melhorar significativamente a qualidade da aprendizagem, proporcionando uma experiência de aprendizagem mais personalizada e adaptativa aos alunos<sup>16</sup>.

## REFERÊNCIAS

1. Posner MI, Rothbart MK. Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annu Rev Psychol* 2007;58:1-23.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.psych.58.110405.085516>
2. Sen B, Shi Z, Burlet G. Diagnosing ADHD from fMRI scans using hidden Markov models. *arXiv* 1506.06048 (q-bio.QM) 2015.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1506.06048>
3. Wang H, Li Y, Jin D, Han Z. Attentional Markov Model for Human Mobility Prediction. *IEEE J Selec Areas Commun* 2021;39:2213.  
<https://doi.org/10.1109/JSAC.2021.3078499>
4. Glynn PW, Meyn SP. A Liapounov bound for solutions of the Poisson equation. *Ann Probab* 1996;24:916-31.  
<https://doi.org/10.1214/aop/1039639370>
5. Sani I, Stemmann H, Caron B, Bullock D, Stemmler T, Fahle M, et al. The human endogenous attentional control network includes a ventro-temporal cortical node. *Nat Commun* 2021;12:360.  
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-20583-5>
6. Somers DC, Dale AM, Seiffert AE, Tootell RB. Functional MRI reveals spatially specific attentional modulation in human primary visual cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1999;96:1663-8.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.96.4.1663>
7. Wang F, Chen M, Yan Y, Zhaoping L, Li W. Modulation of neuronal responses by exogenous attention in macaque primary visual cortex. *J Neurosci* 2015;35:13419-29.  
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0527-15.2015>
8. Shalev L, Algom D. Stroop and Garner effects in and out of Posner's beam: reconciling two conceptions of selective attention. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 2000;26:997. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.26.3.997>
9. Zhang Y, Meyers EM, Bichot NP, Serre T, Poggio TA, Desimone R. Object decoding with attention in inferior temporal cortex. *Proc Natl*

- Acad Sci U S A 2011;108:8850-5.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1100999108>
10. Müller JR, Philiaستides MG, Newsome WT. Microstimulation of the superior colliculus focuses attention without moving the eyes. Proc Natl Acad Sci U S A 2005;102:524-9.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0408311101>
11. Liechty J, Pieters R, Wedel M. Global and local covert visual attention: Evidence from a Bayesian hidden Markov model. Psychometrika 2003;68:519-41.  
<https://doi.org/10.1007/BF02295608>
12. Hillyard SA, Anllo-Vento L. Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. Proc Natl Acad Sci U S A 1998;95:781-7. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.3.781>
13. Shinagawa K, Itagaki Y, Umeda S. Coexistence of thought types as an attentional state during a sustained attention task. Sci Rep 2023;13:1581. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28690-1>
14. Tucha L, Fuermaier ABM, Koerts J, Buggenthin R, Aschenbrenner S, Weisbrod M, et al. Sustained attention in adult ADHD: time-on-task effects of various measures of attention. J Neural Transm 2017;124(Suppl 1):S39-53. <https://doi.org/10.1007/s00702-015-1426-0>
15. Privitera CM, Noah S, Carney T, Klein SA, Lenartowicz A, Hinshaw SP, et al. Pupillary dilations in a Target/Distractor visual task paradigm and attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). Neurosci Lett 2023;818:137556. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2023.137556>
16. Villegas-Ch W, García-Ortiz J, Urbina-Camacho I, Mera-Navarrete A. Proposal for a System for the Identification of the Concentration of Students Who Attend Online Educational Models. Computers 2023;12:74. <https://doi.org/10.3390/computers12040074>