

OLIVEIRA, B.G.; SANTOS, L.P.; LIMA, O.V.M. A recursividade e a condição humana: reflexões sobre a linguagem humana e a inteligência artificial. *ReVEL*, v. 24, n. 46, 2026. [www.revel.inf.br].

A recursividade e a condição humana: reflexões sobre a linguagem humana e a inteligência artificial

Brenda Godinho de Oliveira¹

Leandro de Paula Santos²

Otávia Vieira Machado Lima³

godinhob7@gmail.com

leandro.paula.santos@educacao.mg.gov.br

otavia.lima@educacao.mg.gov.br

RESUMO: Neste trabalho, realizamos movimentos de aproximação e afastamento no que tange às perspectivas da linguística, da cognição e da computação, especialmente para compreender o funcionamento recursivo na linguagem e na cognição humanas e como ferramentas de Inteligência Artificial (IA) as tangenciam com esse mesmo procedimento, mais precisamente em modelos de linguagem generativa de texto.

PALAVRAS-CHAVE: Recursividade; Linguagem; Inteligência Artificial (IA).

ABSTRACT: In this work, we perform movements of approximation and distancing with regard to the perspectives of linguistics, cognition, and computation, especially to understand the recursive functioning in human language and cognition and how Artificial Intelligence (AI) tools touch them with this same procedure, more precisely in generative text language models.

KEYWORDS: Recursion; Language; Artificial Intelligence (AI).

1. Recursividade Humana

¹ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas). Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Letras – Linguística e Língua Portuguesa/PUC Minas. Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

² Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas). Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Letras – Linguística e Língua Portuguesa/PUC Minas.

³ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas). Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Letras – Linguística e Língua Portuguesa/PUC Minas. Professora da Rede Estadual de Minas Gerais.

A recursividade é um conceito complexo que é estudado por várias áreas do conhecimento. Para os objetivos deste trabalho, nesta seção, focaremos na recursividade a partir de Hauser, Chomsky e Fitch (2002), pensando a recursão na linguagem – fator distintivo da capacidade linguística humana, e a partir de Corballis (2011), considerando a recursividade como um atributo muito mais abrangente, que alcança o pensamento e a mente humanas.

1.1 Recursividade e linguagem

A proposta da Teoria Gerativa, de que a linguagem não seria apenas sociocomportamental, mas “organizada como o código genético – hierárquico, generativo, recursivo⁴” (Hauser; Chomsky; Fitch, 2002: 1569), isto é, parte integrante da biologia do ser humano, foi um marco na trajetória dos estudos linguísticos. O que deu fundamento a essa teoria foram os questionamentos de Chomsky (cf. Chomsky, 1957) a respeito das capacidades linguísticas precoces das crianças, que, não dispendo de muitos estímulos, conseguem “dominar a língua materna, aparentemente sem grandes esforços, entre um ano e meio e três anos de idade” (Xavier, Morato, 2014: 15). Não sendo a experiência externa suficiente para justificar essa aquisição, em tão pouco tempo, supõe-se haver uma espécie de conhecimento mental a respeito, daí a ideia de um mecanismo inato, específico, que seria responsável pela Faculdade da Linguagem.

Essa faculdade é dividida em duas concepções por Hauser, Chomsky e Fitch (2002): a Faculdade da Linguagem num sentido amplo (FLB) e a Faculdade da Linguagem num sentido estrito (FLN)⁵. Em termos evolutivos, os autores acreditam que a FLB, que diz respeito às capacidades motoras e sensoriais da linguagem, é compartilhada com outros seres não-humanos, a exemplo da vocalização e gestualização. Já a FLN é, de acordo com eles, o que distingue a linguagem humana, justamente por ela incluir a capacidade de recursão:

A maioria dos comentaristas atuais concorda que, embora as abelhas dançam, os pássaros cantem e os chimpanzés grunham, esses sistemas de comunicação diferem *qualitativamente* da linguagem humana. Em particular, os sistemas de comunicação animal carecem do rico poder expressivo e aberto da

⁴ “to be organized like the genetic code – hierarchical, generative, recursive”.

⁵ Faculty of language in the broad sense (FLB) and in the narrow sense (FLN).

linguagem humana (baseado na *capacidade humana para a recursividade*) (Hauser; Chomsky; Fitch, 2002: 1570, tradução nossa, grifo nosso)⁶.

O que isso implica, em termos práticos, é que, com base em poucos elementos, os seres humanos conseguem criar estruturas linguísticas possivelmente infinitas. Um exemplo clássico que esclarece essa ideia é a lógica de funcionamento das orações subordinadas. Justamente por assim serem, elas dependem de outra estrutura, das orações principais; elas se *encaixam* nestas e, também, são *influenciadas* por elas. Vejamos:

João surpreendeu a professora.

João, **que é muito calmo**, surpreendeu a professora.

João, **que é muito calmo**, **que vem à aula todos os dias**, surpreendeu a professora.

A cada nova adição, a cada novo *merge*⁷, há uma nova estrutura mais farta, mais complexa, mais ampla, mais profunda. E as possibilidades são incomensuráveis. É nisso que reside, segundo Hauser, Chomsky e Fitch (2002), a recursividade, que é distintiva das capacidades linguísticas dos seres humanos.

2.2 Recursividade e cognição

Michael Corballis (2011), um psicólogo e neurocientista neozelandês-canadense, tornou-se popular por seus estudos sobre cognição, percepção visual, memória e evolução da linguagem. Corballis (2011) apresenta o conceito de recursividade em seu livro *The Recursive Mind: The Origins of Human Language, Thought, and Civilization*, no qual ele define a recursividade como uma característica cognitiva fundamental da mente humana, especialmente na linguagem e no pensamento. É, para esse autor,

a principal característica que distingue a mente humana de outros animais. Ela fundamenta nossa capacidade não apenas de refletir sobre nossas próprias mentes, mas também de *simular* as mentes dos outros. Ela nos permite viajar

⁶ *Most current commentators agree that, although bees dance, birds sing, and chimpanzees grunt, these systems of communication differ qualitatively from human language. In particular, animal communication systems lack the rich expressive and open-ended power of human language (based on humans' capacity for recursion).*

⁷ Os itens lexicais, com seus traços, entrariam no sistema computacional e lá ocorreriam operações como *merge* (ou concatenação) (Xavier, Morato, 2014: 33).

mentalmente no tempo, inserindo a consciência do passado ou do futuro na consciência presente. (Corballis, 2011: 01, tradução nossa, grifo nosso)⁸.

Ainda segundo esse autor, uma das características da recursividade é a capacidade de reutilizar o resultado obtido em uma etapa como ponto de partida para a próxima, ou seja, “tomar a própria saída como a próxima entrada”⁹ (Corballis, 2022: 05), formando uma sequência possivelmente infinita. Esse mecanismo pode se repetir¹⁰ indefinidamente, o que permite construir sequências ou estruturas com qualquer nível de extensão ou complexidade.

A capacidade de *incorporar estruturas dentro de estruturas de forma recursiva* dotou nossa espécie com uma capacidade ilimitada de criar frases para expressar um conjunto igualmente ilimitado de significados possíveis. Pelo menos dentro dos limites da memória e da capacidade de processamento de cada um, podemos combinar frases para criar frases tão longas e complexas quanto quisermos. (Corballis, 2011: 16, tradução nossa, grifo nosso)¹¹.

Assim sendo, a recursividade diz respeito à habilidade de incorporação de estruturas que podem ser inseridas dentro de outras estruturas, como em sentenças, nas quais outras orações podem ser agrupadas dentro de outras novas. Por exemplo, “o gato que perseguiu o rato fugiu”. Nesse exemplo, o trecho “que perseguiu o rato” está incorporado na oração principal “o gato fugiu”¹². Corballis (2011) expande essa noção de recursão para além da sintaxe, considerando também outras habilidades cognitivas elaboradas a partir do mesmo conceito, como sugere a própria capa de seu livro que é composta pela arte de uma boneca Matrioska¹³, em que uma camada dá espaço para outra, mas, também, influencia na sua emergência:

Imagem 1 – Boneca Matrioska, capa do livro de Michael Corballis

⁸ *It is the primary characteristic that distinguishes the human mind from that of other animals. It underlies our ability not only to reflect upon our own minds, but also to simulate the minds of others. It allows us to travel mentally in time, inserting consciousness of the past or future into present consciousness.*

⁹ *“is that it can take its own output as the next input”.*

¹⁰ Recursividade (ou recursão) não se confunde com os mecanismos de repetição e de iteração.

¹¹ *The capacity to embed structures within structures in recursive fashion has endowed our species with a limitless capacity to create sentences to express an equally unbounded set of possible meanings. At least within the limits of one’s memory and processing capacity, we can combine phrases to make sentences as long and complex as we like.*

¹² É interessante notar que essas passagens exemplificam o que Hauser, Chomsky e Fitch (2002) entendem como recursividade – mais especificamente como um procedimento de *merge* (Xavier, Morato, 2014) – própria da *Faculty of Language in the Narrow Sense (FLN)*.

¹³ WIKIPÉDIA. A enciclopédia livre. *Matriosca*. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Matriosca>. Acesso em: 28 mai. 2025.



Fonte: Corballis, 2011.

Do mesmo modo, o uso dos próprios números que seguem uma estrutura de organização, como a sequência de Fibonacci, e até mesmo a música pode ser explicada a partir de padrões matemáticos e geométricos de recursividade. Portanto, podemos concluir que a recursividade é um mecanismo que possibilita processos complexos de cognição nos capacitando a gerar infinitas combinações de padrões, ideias dentro de ideias, histórias e mais histórias, sistemas etc.

Essa capacidade, no entanto, encontra limitações decorrentes da capacidade humana de memória e processamento. Essas restrições se manifestam mais claramente na oralidade, pois, principalmente na fala, se o processo recursivo prolongar-se excessivamente, podemos nos perder ou não compreender a formulação do raciocínio. Na escrita, o limite é maior devido às possibilidades de encaixe de sequências uma dentro da outra, mas, também, há um limite para que o texto mantenha sua inteligibilidade. Mesmo com essas limitações práticas, a profundidade recursiva humana permanece infinitamente superior à de outras espécies.

Igualmente, é importante destacar que, para Corballis (2011), a recursão é propriedade do pensamento, como um todo, não apenas da linguagem, como afirmaria Chomsky, e que o pensamento vale-se de outros procedimentos que não a recursividade; nem tudo é recursão.

A recursão parece ser um princípio organizador em esferas muito diferentes da atividade mental humana, da linguagem à memória e à leitura de mentes. O pensamento recursivo provavelmente depende de outros atributos mentais. Um deles é o que tem sido denominado memória de trabalho, que armazena informações na consciência. Para incorporar processos dentro de processos, é necessário lembrar onde se chegou no processo anterior quando um processo incorporado é concluído (Corballis, 2011: 11, tradução nossa)¹⁴.

¹⁴ *Recursion seems to be an organizing principle in very different spheres of human mental activity, from language to memory to mind reading. Recursive thinking probably depends on other mental attributes. One of these is what has been working memory, which holds information in consciousness. In order to embed processes within processes it is necessary to remember where one had got to in the earlier process when an embedded process has been completed.*

Um aspecto recursivo do pensamento humano de grande valia e que, para nossa análise, será interessante explicitá-lo, é a capacidade de criar novos ambientes de experiência a partir de estruturas e esquemas já existentes.

2.3 Novas dimensões experienciais

Giorgio Marchetti (2024: 31) postula que a espécie humana foi capaz de elaborar o que pode ser apresentado, em termos bem genéricos, de uma capacidade de criar “novas dimensões experienciais”¹⁵, tais como a ciência, a arte, a economia e a política, as quais não havia antes e que têm suas leis, procedimentos, técnicas e características particulares. Para esse teórico da cognição, essas novas dimensões experienciais possibilitaram aos seres humanos produzir novos artefatos, desenvolver novas tecnologias, atitudes, expectativas, ideias e práticas e, sobretudo, a viabilidade de habitar novos *mundos* edificados sobre o original do qual saímos e fugimos (*idem, ibidem*).

Para o pesquisador (Marchetti, 2024: 57), a atenção, como processo construtivo, desempenha um papel fundamental em nossa habilidade recursiva por termos a capacidade de criar novos modelos esquemáticos mentais a partir de entradas sensoriais externas sem, ao mesmo tempo, sermos sobrecarregados por tais sensores. Para ele, essa habilidade nos permite controlar o ambiente de forma autônoma e criar novas dimensões experienciais com base nelas. Logo, essas novas dimensões criadas

provaram ser úteis para o desenvolvimento e progresso de nossa espécie (apenas pense como o campo da medicina ajudou a espécie humana a superar doenças) e nos deu novos níveis de liberdade (apenas pense como alguém pode entrar em contato com qualquer pessoa a qualquer hora simplesmente usando o celular), substancialmente melhorando nossa capacidade de autonomamente agir em nosso entorno (Marchetti, 2024: 31).

A partir dessas discussões, procuramos não apenas discorrer sobre o que é a recursividade, mas, também, nuances decorrentes de tal fenômeno. Iremos ponderar, na seção seguinte, a respeito da relação entre recursividade e inteligência artificial.

3. Recursividade e Inteligência Artificial

¹⁵ “*new experiential dimensions*”.

Desde a divulgação a nível mundial, em novembro de 2022, das *Large Language Models*¹⁶ (LLMs), como o ChatGPT (Lee, 2025), que atualmente registra o número de 300 milhões de usuários semanais – o número sobe para 800 milhões se considerarmos os demais sistemas como *DeepSeek*, *Grok*, *Gemini*, *Llama*¹⁷ –, observamos o rápido crescimento de novos recursos disruptivos demonstrando indícios de uma revolução tão vertiginosa na história da humanidade quanto a criação da escrita (TED, 2025) ou a iminência de um fenômeno sem nenhuma precedência chamado de “singularidade”, conceito proposto por Ray Kurzweil (2005) que aponta para um ponto de inflexão no qual não será possível determinar o que pode vir a acontecer no próprio mundo como o conhecemos a partir de então. Talvez, pela primeira vez, cientistas, filósofos, educadores e demais formadores de opinião compartilhem de uma perspectiva similar de que o homem como animal biológico talvez não seja mais o único ser capaz de criar sistemas complexos a partir da recursividade (Corballis, 2011).

Muito tem sido especulado a respeito das possibilidades e das capacidades criadoras e destruidoras das chamadas Inteligências Artificiais (IA) devido, principalmente, a dois fenômenos que andam juntos: (i) a produtividade em escala exponencial; (ii) velocidade de avanços tecnológicos igualmente em linha vertiginosa. Mas, afinal, o que seria, de fato, uma Inteligência Artificial? A resposta subsequente foi elaborada pelo modelo de linguagem Llama 4, com base em sua arquitetura de análise textual (2025). Pertencente ao grupo Meta, esse modelo de linguagem é disponibilizado gratuitamente, em código aberto, no aplicativo de conversas *WhatsApp* para seus usuários:

A Inteligência Artificial (IA) é definida por vários princípios básicos que permitem que *máquinas realizem tarefas que normalmente requerem inteligência humana*. Esses princípios incluem: Aprendizado de Máquina [...] Raciocínio e Resolução de Problemas [...] Percepção [...] Processamento de Linguagem Natural [...] Adaptabilidade [...]. (Llama 4, 2025, grifo nosso).

Em consonância, Santaella (2025) afirma que as IAs representam tecnologias criadas para imitar, ampliar ou simular certas funções cognitivas humanas. Além disso,

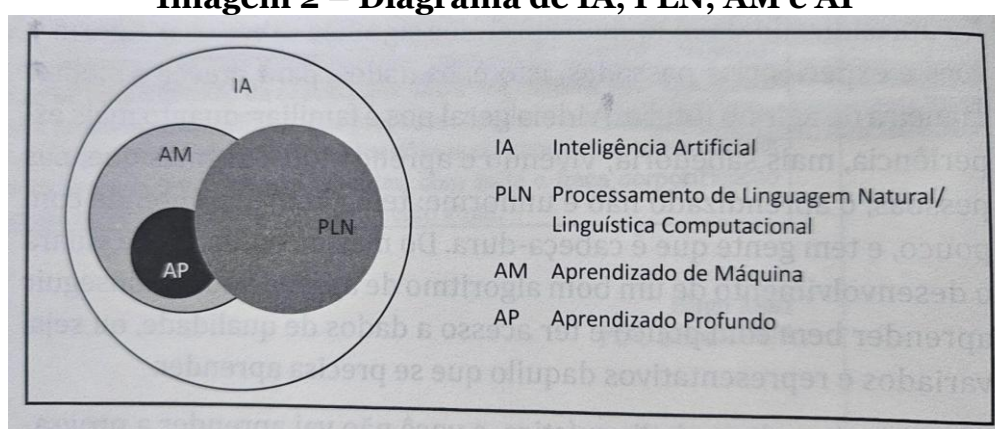
¹⁶ AWS. *O que é grande modelo de linguagem (LLM)?* Disponível em:

<https://aws.amazon.com/pt/what-is/large-language-model/>. Acesso em: 28 maio 2025.

¹⁷ CABALLAR, Rina Diane; STRYKER, Cole. *IBM*, 10 mar. 2025. Uma lista de grandes modelos de linguagem. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/large-language-models-list>. Acesso em: 28 maio 2025.

a pensadora pondera que a IA “passou a ser um termo genérico para uma multiplicidade de variações baseadas em um conjunto de tecnologias que levam os computadores a realizarem tarefas que *imitam* ações inteligentes dos humanos” (Santaella, 2025, grifo nosso). Por sua vez, Cláudia Freitas (2022), em sua obra *Linguística Computacional*, formula um diagrama que nos ajuda a visualizar esses mecanismos que envolvem a lógica de uma IA – sem necessariamente fazer parte dela. Vejamos:

Imagem 2 – Diagrama de IA, PLN, AM e AP



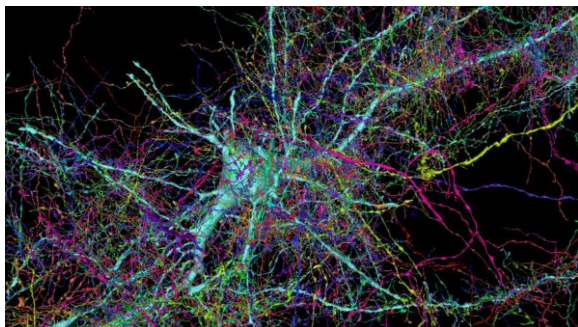
Fonte: Freitas, 2022: 16.

Para os fins deste trabalho, nos ateremos, agora, ao Aprendizado Profundo (AP), ou *Deep Learning* no original, que permitiu os rápidos avanços nas IAs atuais. Ele é composto de redes neurais artificiais, “modelos computacionais (modelos matemáticos) inspirados nas redes neurais biológicas¹⁸, que simulam seu comportamento” (Freitas, 2022: 28). Essas redes são conjuntos de *neurônios* conectados entre si, que se organizam em camadas, em redes de processamento. A primeira dessas camadas recebe o *input* com informações, que são passadas pelas várias camadas que compõem a rede neural até chegar à última, o *output*. Comparemos esse funcionamento em sua forma natural e artificial:

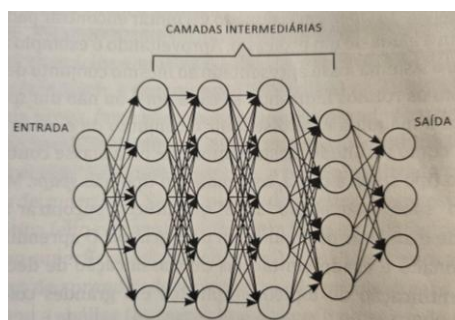
Imagem 3 – Mapa do córtex cerebral humano

Imagem 4 – Redes neurais de AP

¹⁸ É interessante observar que muitos dos termos concebidos pelos estudiosos dessa área se inspiram no funcionamento do corpo humano, a partir de metáforas. O próprio nome *inteligência artificial* não reflete precisamente o que esse recurso realmente é, mas encaminha para certas compreensões e desperta interesse dos mais variados públicos justamente por essa escolha de nomenclatura.



Fonte: Google; Harvard, 2021.

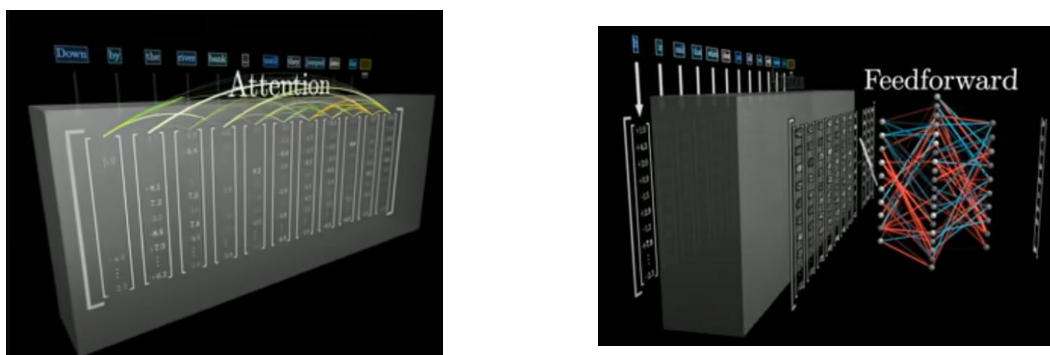


Fonte: Freitas, 2022: 28.

Na imagem à esquerda, temos um mapa, em alta resolução, de um córtex cerebral humano, produzido pela Google e pela Universidade de Harvard (2021); na imagem à direita, temos um esquema das redes neurais de aprendizado profundo. Esse tipo de redes neurais foi aprimorado pelo Google em 2017, com a criação de um novo modelo chamado *Transformer*¹⁹ (Vaswani *et al*, 2017) incluindo um novo mecanismo denominado de *attention*, que possibilita à ferramenta ter uma noção mais ampla do contexto. Anteriormente, os modelos *leriam* palavra por palavra, mas, a partir dessa inovação, eles nem sequer leem o texto do começo ao fim; absorvem tudo de uma vez, em paralelo. Com isso, conseguem calcular, com base em todos os parâmetros aplicados anteriormente, as palavras que provavelmente serão as mais adequadas para aquele cenário, o que simula certo nível de coerência (3Blue1Brown, 2024). Nas camadas da rede neural, a operação de *attention* é aplicada, ensejando esse entendimento contextual, pois elas *conversam* entre si e, entre elas, há a operação *feedforward*, que concede a esse modelo mais espaço de armazenamento para os padrões sobre a linguagem aprendidos na fase de treinamento.

Imagem 5 – Operações de *attention* e de *feedforward*

¹⁹ Essa arquitetura é a usada pelo ChatGPT, da OpenAI, e pelo Gemini, da Google.



Fonte: 3Blue1Brown, 2024.

Dessa forma, a IA precisa de um conjunto de dados para calcular probabilidades. Na IA generativa de textos, os *chatbots*, como é o caso do ChatGPT, do Copilot e do Gemini esses dados são textos de diversas fontes, contextos culturais e gêneros diversos, sendo a maior parte coletada *online* (cf. Heikkila, 2025). Depois de alimentada com esses dados, ela utiliza algoritmos pré-programados para analisar esses dados e encontrar padrões. Esse é o Aprendizado de Máquina (AM), ou *Machine Learning*, no original. A IA generativa de texto é treinada com enormes quantidades de textos, nos quais ela identifica padrões de linguagem, como as palavras se combinam, por exemplo. O modelo GPT (*Generative Pre-Trained Transformer*) funciona através da predição da próxima palavra em uma sequência, baseando-se nas palavras anteriores. Depois do treinamento inicial com grandes *corpora* textuais, o modelo passa por uma etapa em que humanos ajudam a ajustar e refinar o comportamento da IA. É aqui que encontramos certa semelhança com a recursividade da linguagem.

Recursão, em programação, acontece quando uma função chama a si mesma para resolver um problema ou para quebrá-lo em partes menores (IME/USP, 2019). Mas a IA generativa não usa a recursão nesse sentido, não nesses modelos de LLM pelo menos. O que ocorre é um comportamento recursivo, principalmente na forma como ela gera e processa palavras, frases, orações e textos sequencialmente, ou seja, mesmo sem utilizar recursão explícita, o comportamento da IA parece recursivo, pois, a cada nova palavra gerada, ela usa o que acabou de calcular como base para prever a próxima palavra. Esse comportamento lembra o movimento de recursão, especialmente pelas frases aninhadas e estruturas sintáticas mais complexas. Tal comportamento recursivo

pode-se configurar como recursão, porque a entrada do próximo passo depende da saída anterior.

4. Aproximações e distanciamentos

Corballis (2011) ao apresentar a recursividade como uma habilidade singular às pessoas, ainda não podia prever as transformações trazidas pelos modelos de linguagem que se popularizaram mais de uma década após a publicação de seu livro. Recentemente, Eric Schmidt (2025), ex-CEO da *Google*, ao comentar sobre a “chegada da inteligência não-humana”, adverte que subestimar a capacidade disruptiva da IA pode ser um grande erro. Do mesmo modo, ele também alerta para um perigo potencial: os avanços contínuos das IAs, inclusive em sua capacidade de utilizar estruturas recursivas nos processos de autoaprendizado. Sobre a mesma questão, no modelo Llama 4 (2025), vemos indícios de recursividade a partir das respostas dadas por esse modelo de linguagem, principalmente a respeito de tarefas que envolvem repetição estruturada, raciocínio hierárquico e resolução de problemas em múltiplas etapas. Segundo o próprio modelo:

[...] as ideias de recursividade podem ser associadas às novas IAs, especialmente em relação à capacidade dessas tecnologias de processar linguagem e resolver problemas de maneira recursiva. Essa conexão pode ter implicações importantes para nossa compreensão da cognição artificial e seu potencial para resolver problemas complexos (Llama 4, 2025).

Essa observação reforça a ideia de que certas operações cognitivas, antes consideradas exclusivas dos humanos, estão começando a ser simuladas – ou mesmo reproduzidas – por IAs avançadas, o que recoloca em debate quais são os limites da cognição humana e, de certo modo, da artificial. Além da recursividade observada nos modelos de linguagem, nota-se que outras atividades, até então, exclusivamente humanas, estão sendo executadas por IAs. No campo artístico, por exemplo, já se vê a composição de músicas e a criação de pinturas; no meio técnico, tarefas como a transcrição de áudios, a execução de projetos e a geração de imagens são realizadas com eficiência por sistemas automatizados; no setor médico, modelos são capazes de elaborar diagnósticos e prescrições com base em grandes volumes de dados. Segundo Simonetti (Café Filosófico CPFL, 2025), esses avanços indicam que as IAs aparentam demonstrar, em suas versões atuais, certo nível de simulação de subjetividades

artificiais a partir da linguagem – um atributo anteriormente reservado apenas aos humanos.

Desse modo, considerando a manifestação recursiva em sua materialidade, tanto seres humanos quanto sistemas de IA reconhecem e utilizam regularidades linguísticas: o ser humano, dentre outras possibilidades, aprende reconhecendo padrões, conforme inseridos em contextos de uso; a máquina, por sua vez, *registra* por meio da identificação de padrões estatísticos extraídos de grandes conjuntos de dados. No entanto, os humanos interagem com intencionalidade e subjetividade, já a IA, pelo que nos parece, imita/simula esses aspectos, sem compreensão real, até mesmo porque as ferramentas de IA não são autônomas, independentes. Para serem treinadas, em alguns casos, necessitam de supervisão humana para que internalizem os padrões considerados prováveis em determinados contextos; para terem acesso ao que será seu objeto de cômputo de probabilidades, precisam de alguém que os coloque em contato com os dados – que precisam ser autênticos, reais, produzidos por pessoas, já que é delas que as IAs tentam reproduzir seus parâmetros.

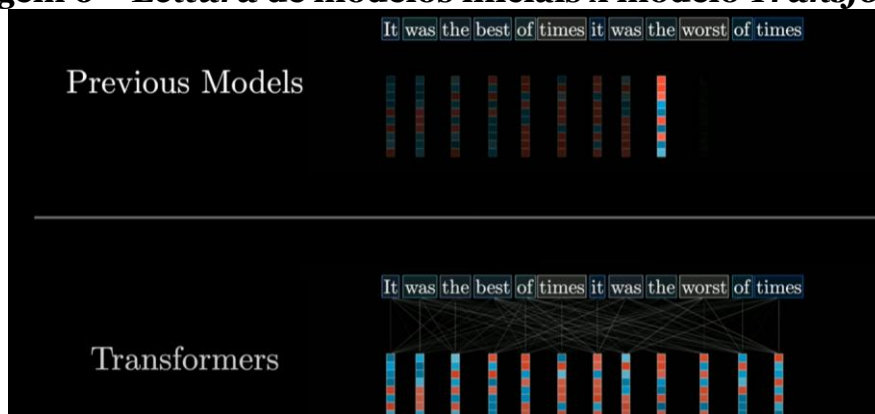
Hoje em dia, um fenômeno curioso que tem sido tratado por alguns estudiosos do campo, é o chamado *loop de feedback* (Kaufman, 2024). Em linhas gerais, é um movimento cíclico que permite um aprimoramento de um determinado sistema, tendo como base seus resultados anteriores. Contudo, em se tratando de ferramentas de IA, o que tem acontecido é que elas estão se valendo de dados produzidos por elas mesmas – *dados sintéticos*, de acordo com Dora Kaufman (2024) – e, conseqüentemente, comprometendo a qualidade dos resultados. Fundamentando-se em três distintos estudos, a professora explica essa lógica enviesada com o exemplo das imagens de mãos produzidas artificialmente. É como se as plataformas de IA se baseassem nos desenhos de mãos distorcidas, que elas mesmas elaboraram, para *criar* outras mãos. O percurso, nesse caso, levaria a resultados não tão satisfatórios e o mesmo se aplicaria às ferramentas generativas de texto²⁰. Ainda que esse ciclo possa levar a erros, ele revela um traço importante no funcionamento desses sistemas: uma forma de recursividade, em que os resultados retroalimentam o próprio processo de criação.

²⁰ Um dos estudos mencionados pela professora, inclusive, cria um novo termo para esse fenômeno, o “*Model Autophagy Disorder*” (*MAD*, em alusão à doença da vaca louca) (Kaufman, 2024).

Esse princípio pode ser melhor compreendido se observarmos como os modelos de linguagem funcionam internamente. Um exemplo é o modelo, já citado, *Transformer* (Vaswani *et al*, 2017), base de muitas ferramentas atuais de IA generativa. A princípio, modelos iniciais de LLM eram treinados lendo palavra por palavra de uma sentença, por exemplo, para, então, calcular qual seria a mais provável de caber naquele contexto, naquela última posição da sentença²¹. É como se perguntássemos a você, leitor, o que poderia caber aqui: *Brasília é uma cidade no _____*. Com base em centenas de bilhões de parâmetros e pesos e com recorrentes refinamentos, as IAs calculam o que possivelmente se encaixaria nessa lacuna. Inclusive, há um algoritmo chamado de retropropagação, no original, *backpropagation*, que faz com que, quando houver erro, ele retorne por toda a rede neural, do *output* até o *input*, fazendo os ajustes necessários nos pesos das conexões em cada camada para tentar minimizar as suas ocorrências em próximas tentativas. Esse processo de revisão constante evidencia uma forma de recursividade matemática: a IA se corrige ao aprender com as próprias falhas, refinando seu desempenho a cada ciclo.

O modelo *Transformer* faz isso diferentemente. Ele foi gerado para processar tudo ao mesmo tempo, em paralelo, não palavra por palavra, além de contar com as operações de *attention* e *feedforward*, como mencionamos anteriormente. Isso faz com que esse modelo capte o contexto de maneira mais integral:

Imagem 6 – Leitura de modelos iniciais x modelo *Transformer*



Fonte: 3Blue1Brown, 2024.

²¹ Essa posição foi definida como padrão para os processos de treinamento.

Já que, sobretudo, no momento de aplicação da *attention*, há uma conexão entre as palavras, o que facilita esse processo de reconhecimento contextual e da seleção probabilística do melhor elemento a preencher aquela lacuna:

Imagem 7 – Esboço de aplicação da *attention*



Fonte: Acervo pessoal, 2025.

Em ambos os modelos, observamos uma lógica que se assemelha à teorizada por Hauser, Chomsky e Fitch (2002), ao aplicar a lógica da recursividade em termos de encaixes e segmentações de forma encadeada, em que o elemento anterior influencia o posterior até que uma estrutura esteja completa. Especialmente o modelo de *Transformer* exemplifica um funcionamento recursivo sofisticado, em que o sistema retorna a seus próprios processos, ajusta seus caminhos internos e se aprimora continuamente, aproximando-se, de certo modo, das operações complexas que caracterizam a linguagem humana, pelo menos nessa perspectiva de funcionamento da FLN (Hauser; Chomsky; Fitch, 2002). Xavier e Morato (2014), inclusive, nos dão margem para essa aproximação, quando comparam a inata Faculdade da Linguagem a um algoritmo:

Isto é, como um *dispositivo (inato)* presente *biologicamente* em todos os seres humanos, que nos fornece um *sistema gerativo, um conjunto de instruções sequenciais, como as inscritas em um programa de computador*, ou seja, a Faculdade de Linguagem é um programa de aquisição da língua *a partir de algoritmos transmitidos geneticamente para desenvolver uma gramática*, que é baseada em experiências linguísticas das crianças. Esse sistema natural torna-nos competentes a adquirir a gramática de uma língua. (Xavier; Morato, 2014: 17, grifo nosso).

Diante dessas dinâmicas que revelam uma crescente autonomia e complexidade nas operações das IAs, cabe ainda levantar uma questão provocadora: estaríamos testemunhando a gênese de uma nova espécie (Weinstein, 2025)? Segundo o biólogo

evolucionista Bret Weinstein (2025) a inteligência artificial se inscreve no domínio da “complexidade”. Para esse cientista, ao se falar de tal temática, torna-se importante considerar algumas de suas implicações tais como: (i) imprevisibilidade; (ii) emergência; e (iii) importância do contexto. No primeiro item, (i) imprevisibilidade, um sistema complexo pode ser imprevisível e de difícil controle devido aos seus relacionamentos intrincados e sua dinâmica não-linear. Por sua vez, na questão da (ii) “emergência”, um sistema complexo pode exibir propriedades emergentes que se manifestam a partir de interações não planejadas ou não previstas entre os componentes ao invés de serem pré-determinadas por suas partes individuais. Do mesmo modo, (iii) a importância do contexto diz respeito à necessidade de se considerar um sistema complexo que requer o entendimento do seu entorno no qual tal mecanismo opera, incluindo comunicações entre componentes e suas dinâmicas com o contexto do qual eles pertencem. Esses três elementos – imprevisibilidade, emergência e contexto – se entrelaçam com os aspectos já discutidos, como o *loop de feedback*, a retropropagação e os mecanismos de *attention* nos *Transformers*. Eles reforçam a ideia de que a IA, longe de ser apenas uma ferramenta estática, está se tornando um agente dinâmico que interage, aprende e se transforma continuamente a partir de suas *interações* com o humano. Embora tenhamos essas possibilidades plausíveis, alguns aspectos relativos à recursão, pelo menos por enquanto, ainda não permitem essas mesmas aproximações, principalmente os que dizem respeito ao que Corballis descreve em *Theory of Mind* (2011). O fato de que conseguimos *ler as mentes* de nossos semelhantes, recursivamente, ainda não é algo que possamos atribuir às IAs, pois a “leitura da mente não é produto de percepção extrassensorial ou emanções psíquicas, mas sim um *processo mental*, dependente de *situações comuns, experiências compartilhadas* e uma compreensão de que *outras mentes são como a nossa*” (Corballis, 2011: 147, tradução nossa, grifo nosso)²².

5. Considerações Finais

A produção de padrões e estruturas é um fenômeno que está presente em diversos organismos biológicos. O produto dessa (re)produção é observado a partir do

²² “*Mind reading is not the product of extrasensory perception or psychic emanations, but is rather a mental process, dependent on common situations, shared experience, and an understanding that other minds are like our own*”.

crescimento e/ou decaimento de tais organismos que não cessam de interagir com seu entorno. Na questão da elaboração de estruturas, observamos, por exemplo, a produção de teias, pelas aranhas, ou do entendimento de sistemas geométricos que se repetem no crescimento de árvores, como a autossimilaridade e demais arquiteturas complexas não-lineares como rios e montanhas, nomeadas de fractais (Mandelbrot, 1982). Nesse sentido, pode-se considerar que a lógica recursiva, compreendida como princípio estruturante das relações dinâmicas vitais e cognitivas, constitui-se como elemento idiossincrático dos sistemas vivos.

A IA generativa demonstra capacidade de produzir estruturas linguísticas de maneira recursiva, estabelecendo-se a partir de cálculos probabilísticos que levam ao aprendizado de padrões gramaticais presentes nos dados de treinamento. Ademais, o processo de predição sequencial dos modelos de linguagem apresenta similaridade formal com a recursividade própria da linguagem humana, mais precisamente, a FLN, descrita por Hauser, Chomsky e Fitch (2002), envolvendo autorreferência ao texto já gerado e construção progressiva e aninhada, encaixada. Esse comportamento simula estatisticamente a propriedade recursiva da linguagem, embora careça de outras propriedades que são particulares à linguagem humana. Apesar das semelhanças estruturais, existem diferenças, já que a IA não é consciente, nem dispõe de intencionalidade. Ela (re)produz formas recursivas, porque foi treinada com textos humanos e programada para organizá-los em padrões de probabilidade a partir de cálculos, mas não possui capacidade recursiva no sentido cognitivo. Enquanto, para o humano, a recursão é uma capacidade biologicamente idiossincrática, para a IA, no presente momento, é uma emulação programada, baseada em padrões estatísticos.

Quando comparamos a recursão humana com a simulada pela máquina, é importante lembrar que Hauser, Chomsky e Fitch (2002) defenderam a recursão como uma propriedade fundamental da linguagem humana – isso quer dizer que a linguagem permite encaixar estruturas dentro de outras. Essa capacidade de aninhamento – realizar encaixamentos infinitamente – seria inata e exclusiva do ser humano. Já Corballis (2011) amplia essa ideia dizendo que a recursão é uma capacidade cognitiva mais geral, que aparece não só na linguagem, mas, também, em outros aspectos da existência humana, como na imaginação e na memória. Desse modo, a recursão em IA resulta de processamento algorítmico de regularidades estatísticas em grandes conjuntos de dados linguísticos, elaborado *artificialmente*, ao

passo que a recursão humana, conforme teorizada pelos autores com os quais dialogamos, é uma capacidade cognitiva *natural*, constituinte do ser humano em sua complexidade.

Referências

3BLUE1BROWN. *Modelos de Linguagem de Grande Escala explicados resumidamente*. YouTube, 20 nov. 2024. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=LPZh9BOjkQs&list=PLejBD8KCnK9oRIXeZHJ7KoLbJxTHWaZ_D&index=1. Acesso em: 29 jul. 2025.

AWS. *O que é grande modelo de linguagem (LLM)?* Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/large-language-model/>. Acesso em: 28 maio 2025.

CABALLAR, Rina Diane; STRYKER, Cole. *IBM*, 10 mar. 2025. *Uma lista de grandes modelos de linguagem*. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/large-language-models-list>. Acesso em: 28 maio 2025.

CAFÉ FILOSÓFICO CPFL. *Café filosófico | A subjetividade artificial*. 04 maio 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wByWz8nzyYE>. Acesso em: 29 maio 2025.

CHOMSKY, Noam. *Syntactic Structures*. The Hague, Netherlands: Mouton Publishers, 1957.

CORBALLIS, Michael C. *The Recursive Mind: The Origins of Human Language, Thought, and Civilization*. Princeton: Princeton University Press, 2011.

FREITAS, Cláudia. *Linguística Computacional*. São Paulo: Parábola, 2022. 1 ed. 184 p. (Linguística para o ensino superior).

GOOGLE; HARVARD. *Google e Harvard produzem mapa em mais alta resolução do cérebro humano*. *Revista Galileu*, São Paulo, 09 jun. 2021. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Tecnologia/noticia/2021/06/google-e-harvard-produzem-mapa-em-mais-alta-resolucao-do-cerebro-humano.html>. Acesso em: 29 jul. 2025.

HAUSER, Marc D.; CHOMSKY, Noam; FITCH, W. Tecumseh. *The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve?* *Science*, v. 298, n. 5598, p. 1569–1579, 2002. DOI: 10.1126/science.298.5598.1569.

HEIKKILA, Melissa. *De onde vêm os dados usados para construir IA*. *MIT Technology Review Brasil*, 9 jan. 2025. Disponível em: <https://mittechreview.com.br/origem-dados-inteligencia-artificial>. Acesso em: 30 jul. 2025.

INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA (IME/USP). *As três leis da recursão*. Projeto PANDA. São Paulo: USP, [s.d.]. Disponível em: https://panda.ime.usp.br/panda/static/pythonds_pt/04-Recursao/03-tresLeis.html. Acesso em: 30 jul. 2025.

KAUFMAN, Dora. Ameaça aos modelos de IA generativa: loop de feedback. *Época NEGÓCIOS* – IAgora?, 6 set. 2024. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/colunas/iagora/coluna/2024/09/ameaca-aos-modelos-de-ia-generativa-loop-de-feedback.ghtml>. Acesso em: 29 jul. 2025.

KURZWEIL, Ray. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. Nova York: Viking Penguin, 2005.

LEE, Angie. *What Are Large Language Models and Why Are They Important?* NVIDIA Blog, 26 jan. 2023. Disponível em: NVIDIA Blog. Acesso em: 28 maio 2025.

LLAMA 4. *Princípios e fundamentos da inteligência artificial*. 28 maio 2025. Disponível em: Plataforma de diálogo Meta AI. Acesso em: 28 maio 2025.

MANDELBROT, Benoît B. *A Geometria Fractal da Natureza*. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1982.

MARCHETTI, Giorgio. Attention as a constructive process of conscious experiences. In: SOBRAL, Ana Lucia (org.). *Interfaces entre linguagem e cognição*. Do pensamento à ação. 1. ed. São Paulo: Contexto, 2024. p. 31-76.

SANTAELLA, Lucia. *No começo e no “fim” era o verbo: as implicações da IA na condição humana. Entrevista especial*. Instituto Humanitas Unisinos – IHU, 18 jun. 2025. Disponível em: <https://ihu.unisinos.br/categorias/159-entrevistas/653501-no-comeco-e-no-fim-era-o-verbo-as-implicacoes-da-ia-na-condicao-humana-entrevista-especial-com-lucia-santaella>. Acesso em: 29 jul. 2025.

TED. *The AI Revolution Is Underhyped* | Eric Schmidt | TED. Entrevista concedida a Bilawal Sidhu. 15 maio 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=id4YRO7GowE>. Acesso em: 28 maio 2025.

VASWANI, Ashish *et al.* *Attention is all you need*. arXiv, [s.l.], 12 jun. 2017. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1706.03762>. Acesso em: 29 jul. 2025.

WEINSTEIN, Bret. *AI agents debate: These jobs won't exist in 24 months!* Entrevistado por DIARY OF A CEO. YouTube, 12 maio 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=JMYQmGfTltY&t=540s>. Acesso em: 31 jul. 2025.

XAVIER, Gláucia do Carmo; MORATO, Rodrigo A. *Teoria Gerativa: uma introdução aos principais conceitos*. In: HERMONT, Arabie Bezri; XAVIER, Gláucia do Carmo (orgs.). *Gerativa: (inter)faces de uma teoria*. Florianópolis: Beconn | Produção de conteúdo, 2014. p. 13-40. ISBN: 978-85-67853-02-4.