

ANDRADE, I. R.; FRANÇA, A. I.; SAMPAIO, T. O. M. Dinâmicas de interação nature-nurture: do *imprinting* à reciclagem neuronal. *ReVEL*, vol. 16, n. 31, 2018. [www.revel.inf.br]

DINÂMICAS DE INTERAÇÃO *NATURE-NURTURE*: DO *IMPRINTING* À RECICLAGEM NEURONAL

Nature-nurture interaction dynamics: from imprinting to neuronal recycling.

Isadora Rodrigues de Andrade¹

Aniela Improta França²

Thiago Oliveira da Motta Sampaio³

andradeisadora@ufrj.br

aniela@gmail.com

thiagomotta@iel.unicamp.br

RESUMO: A partir de relatos de estudos sobre o desenvolvimento cognitivo das espécies, aqui será proposto um continuum classificatório das diferentes cognições começando pelas espontâneas, já prontas ao nascimento, passando por outras cognições maturacionais, que são incrementadas dentro de janelas de tempo estabelecidas pela espécie a partir da exposição ao meio. No fim do continuum, estão as cognições adquiridas que atuam em tarefas aprendidas a partir de instrução explícita ou imitação. A habilidade cognitiva de ler, desenvolvida pelo cérebro humano, será enfocada mais aprofundadamente à luz da neotenia, alongamento da infância, e da hipótese da reciclagem neuronal, que prevê a cooptação de cognições já estabelecidas para a execução de novas tarefas criadas pela sociedade, como a leitura.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem neuronal; neotenia; evolução; leitura.

ABSTRACT: From studies on the cognitive development of different species, we propose a continuum to classify different cognitions on the basis of its acquisition mode. It starts from the most spontaneous ones, that are ready from birth. Then the continuum progresses through maturational cognitions, that are implemented at restricted species-specific time-frames. Finally, the continuum features optional cognitions used to cope with tasks acquired through explicit instruction or imitation. The cognitive ability to read, developed by the human brain, will be more deeply focused under the light of neoteny, an enlengthening of infancy, and under the neuronal recycling hypothesis, which predicts the co-optation of already established cognitions for the execution of new tasks created by society, such as reading.

KEYWORDS: neuronal recycling; neoteny; evolution; reading.

¹ Aluna do Mestrado em Linguística no Programa de Pós Graduação em Linguística da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

² Docente do Departamento de Linguística da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

³ Docente do Departamento de Linguística da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp.

1. INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Cognitiva da metade do século XX (Bechtel et al. 2001), os estudos voltados para o comportamento animal realçaram a importância do saber sobre como as espécies animais, incluindo os seres humanos, adquirem conhecimento e especializam suas cognições para estarem no mundo.

Grande parte do conhecimento acumulado sobre cognição de linguagem nesses sessenta anos pós-revolução eclodiu a partir da resenha de Noam Chomsky (1959) sobre o livro *Verbal Behavior* de Skinner. “A resenha de Chomsky passou a ser considerada como um dos documentos fundamentais da psicologia cognitiva e (...) é até hoje considerada a mais importante refutação do behaviorismo” (Newmeyer, 1986, p. 73).

A oposição veemente de Chomsky e dos seguidores da sua teoria – Gramática Gerativa – frente à possibilidade da linguagem ser explicada e modelada em termos comportamentais gerais (*cf.* Chomsky, 1959), vem trazendo avanços consideráveis na profundidade com que hoje se entendem os processos neurocognitivos, as especificidades mental/cerebral de microcognições e também suas interrelações locais e em rede com outros domínios cognitivos.

Talvez o argumento fundamental desse debate possa ser economicamente explicitado na tensão entre as previsões centrais dos dois cientistas a respeito das cognições dos seres vivos. Enquanto Skinner apostava que a cognição de linguagem ou o “comportamento verbal” seria qualitativamente semelhante a qualquer outra cognição de outro ser vivo, sendo, assim, passível de ser modelada através de esquemas gerais de estímulos-resposta, Chomsky afirmava que a cognição da linguagem no homem envolvia especificidade mental/cerebral e era exclusiva da espécie. Para Chomsky, a linguagem seria um módulo no cérebro no homem em parte moldado pela genética da espécie, além de ser também qualitativamente diferente de outras cognições no homem e em outros seres vivos.

No que diz respeito ao ponto principal daquele debate dos anos 50 – habilidade geral ou específica da linguagem - a tese da modularidade estrita tem sido extensamente debatida e combatida. Contudo, com desenvolvimentos recentes da genética (*cf.* Rakic 2009, para uma revisão da especificidade do substrato genético do

neocórtex humano) e dos estudos de neuroimagem, chegou-se ao consenso de que realmente há áreas cerebrais perisilvianas e certas redes incluindo essas áreas que são responsáveis pelo processamento da linguagem ou que performam especialização funcional dedicada à linguagem (cf. Curtiss, 2013; Fedorenko, 2014; Skeide, Friederici, 2016).

Além das especificidades para a linguagem, avanços na neurociência cognitiva revelam também muita especificidade de outros domínios cognitivos, alto fluxo de informação na interrelação entre sistemas dedicados e também grande diversidade no que tange às diferentes dinâmicas de aquisição, manutenção e ajuste de outros sistemas cognitivos mais e menos reflexos (cf: Want et al 2003, em relação ao processamento facial; Livneh, Adam, Mizrahi 2004, em relação ao processamento de odor; Cohen, Dehaene 2004, em relação à leitura, para exemplificar alguns deles).

Esse artigo tem por objetivo explicitar diferentes dinâmicas de funcionamento dos sistemas cognitivos, organizadas ao longo de um *continuum* de interação, que se estende desde as cognições instintivas, mais reflexas e inconscientes, até às mais elaboradas e conscientes, para que, de forma didática, o leitor interessado em biolinguística possa ficar melhor situado nesse amplo mapeamento cognitivo que procuraremos delinear.

Por fim, depois da apresentação panorâmica das dinâmicas de interação *nature-nurture*, a cognição de leitura será enfocada com maior profundidade, por ocupar o meio-termo entre a cognição espontânea e aquela que só é aprendida a partir de instrução formal. Nesse âmbito, será também discutida a hipótese de reciclagem neuronal de Stanislas Dehaene (2004) que localiza uma área no sulco occipito-temporal lateral esquerdo como a Área da Forma Visual da Palavra (VWFA- *visual word-form area*). A VWFA seria produto de uma dinâmica especial de interação *nature-nurture*, que recicla duas áreas contíguas, a de processamento de objetos e a de processamento de faces, formando uma nova área que pode oferecer automação a uma tarefa cognitiva opcional, socialmente determinada, como a leitura.

2. DIFERENTES DINÂMICAS DE INTERAÇÃO ENTRE COGNIÇÃO E AMBIENTE

Para organizar o conhecimento sobre a aquisição de diferentes cognições será aqui idealizado um *continuum* didático, que tem origem nas cognições mais instintivas, como buscar alimento ao nascer, e se estende até as mais elaboradas,

como aprender física quântica, escrever um romance, aprender línguas estrangeiras, que dependem de esforço cognitivo consciente, treinamento e aprendizagem explícita.

Na ponta mais instintiva do *continuum* estaria o *imprinting*, comportamento reflexo da espécie que já é espontâneo ao nascimento, estudado pelo etólogo e zoólogo austríaco Konrad Zacharias Lorenz (1903 – 1989). A obra intitulada *King Solomon's Ring: New light on animal ways* (Lorenz 1949), juntamente com seus outros escritos, rendeu ao austríaco o prêmio Nobel de Fisiologia em 1973 e se tornou referência para a literatura especializada.

Durante trabalho de campo, Lorenz observou dois homens carregando uma canoa sendo seguidos por gansos adultos que, por sua vez, eram seguidos por patinhos recém-nascidos, formando uma longa fileira de treze aves. Uma característica em comum a todas as aves: a preocupação e o esforço em acompanhar a fila. Lorenz quis investigar esse comportamento. Assim, montou diversos experimentos com patos e gansos de diferentes espécies – pato-selvagem, pato-real e ganso egípcio, recém-nascidos e adultos, artificialmente incubados ou eclodidos naturalmente.

Os resultados levaram Lorenz a concluir que, independentemente da forma como nasciam, no habitat natural ou nas chocadeiras no laboratório, aquelas aves perseveravam em seguir o primeiro ser em movimento que avistavam, como uma estratégia reflexa de sobrevivência. Durante todo o período de desenvolvimento das aves, o comportamento perdurava, como pode-se ver na foto do próprio Lorenz sendo seguido pelos patos que fizeram parte do seu experimento (Figura 1).



Figura 1: Lorenz sendo seguido por patos selvagens.

Lorenz registrou ainda uma diferença entre espécies de aves: os patos-selvagens se mostraram mais seletivos do que os gansos-selvagens para reconhecimento de um ser vivo como mãe ou líder provedor de alimento e, então, seguiu-o. Os patos brancos apresentaram uma reação imediata não só para o estímulo visual da mãe ou suposta mãe, mas também para referência sonora dela. Diferentemente, os gansos selvagens aceitavam seguir qualquer corpo em movimento que estivesse no local imediato onde eles saíram do ovo. Assim, Lorenz concluiu que o *imprinting* resultava de especificidade genética, porém o próprio Lorenz achava que havia alguma informação do meio que fazia eclodir o comportamento, no caso dos patos, seria o movimento de algum ser no meio ambiente.

Niko Tinbergen, também etólogo que recebeu o prêmio Nobel no mesmo ano de Lorenz, estudou outro fenômeno importante no comportamento animal, a que ele chamou de padrões de ação fixa, ou FAPs (Fixed Action Patterns, Figura 2).

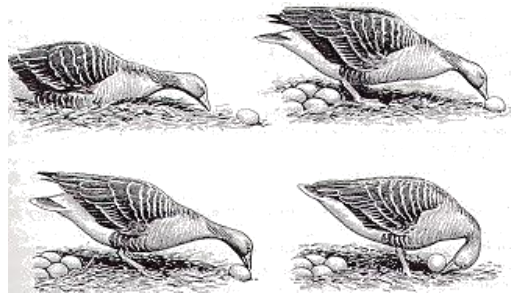


Figura 2: Uma pata executando padrões de ação fixa para recuperar seus ovos.

Trata-se de uma sequência comportamental de atos motores mais elementares, que formam um padrão com uma função clara na sobrevivência do animal. Por exemplo, quando um ovo cai de um ninho de pato, a mãe recupera-o por uma sequência elaborada de movimentos de sua cabeça e bico. No entanto, essa rotina é bastante estereotipada, porque se os ovos escapam dessa recuperação e se perdem, o pato continua a executar o movimento no vazio, até chegar ao ninho. (Tinbergen, 1951)

Lorenz e Tinbergen acreditavam que o *imprinting* não é um processo de memória individual, que é restrito apenas ao animal que experimenta o aprendizado, mas que, ao contrário, é um tipo de condicionamento "supraindividual" de um grupo de organismos. Em outras palavras, é específico da espécie e não um processo de aprendizagem associativa (Horn, 1985).

Mas nem todas as cognições são assim reflexas. Algumas espécies nascem com reflexos mais preparados para sobreviver no mundo do que outras. Enquanto as zebras conseguem andar com cerca de 20 minutos de vida e correr de seus predadores com cerca de 1 hora de vida (Nunez et al. 2009), bebês humanos precisam de meses para começar a engatinhar. Assim como o engatinhar e o caminhar da espécie humana, outros comportamentos animais dependem de certa maturação ou de exposição mais longa à informação externa para aflorar. Alguns deles estão também condicionados à exposição dentro de uma janela temporal definida para a espécie, chamada de *Período Crítico*.

Estimulado pelo mundo externo, o sistema nervoso pós-natal responde mais à experiência sensorial natural. As janelas de tempo existem quando os circuitos cerebrais que subservem uma dada função são particularmente receptivos a adquirir certos tipos de informação, ou até mesmo necessitam daquele sinal instrutivo para a continuação de seu desenvolvimento normal. (Hensch, 2004: 549, tradução nossa)

O Período Crítico é uma janela temporal fortemente delimitada pela genética do indivíduo, durante a qual o indivíduo espontaneamente, sem esforço, se molda a informações do meio, conhecidas tecnicamente como *Dados Primários*. Os Dados Primários guiam a especialização da circuitaria cerebral de forma que o sistema nervoso possa estabelecer seu curso normal de desenvolvimento, definindo um nível ótimo de desempenho com pouco dispêndio de energia e tempo e, virtualmente, sem erosão depois que esta janela de oportunidades é fechada.

Primeiramente há a competição funcional entre inputs. A especificação genética determina admiravelmente muito da estrutura básica e função do sistema nervoso. Mas o meio ambiente e as características físicas do indivíduo, cujo cérebro está nascendo, não podem ser codificados no genoma. Para o funcionamento correto do sistema é necessário um processo pelo qual os neurônios selecionem (ou mapeem) o repertório de inputs de um leque maior de possibilidades. Com efeito, a customização de circuitos neuronais adequados a cada indivíduo é o propósito principal dos Períodos Críticos (Hensch, 2004, p. 550, tradução nossa).

No homem, há uma infinidade de períodos críticos, com diferentes inícios e duração de janelas de oportunidades altamente plásticas reguladas de forma específica por microsistemas cognitivos (cf. Hensch 2004 e Werker, Hensch 2015 para uma revisão pormenorizada de aspectos da bioquímica e fisiologia dos períodos críticos). Durante cada um deles, o cérebro em desenvolvimento cresce em uma velocidade inimaginável. Em um primeiro momento, os neurônios chegam a se

formar na taxa de 250.000/minuto fazendo com que o número de sinapses e o peso e a densidade do córtex cresçam também vertiginosamente (cf. Gopnic, Meltzoff, Kuhl 1999; Reis, Collins, Berscheid 2000).

O período crítico se abre quando gatilhos moleculares são acionados em resposta à uma entrada sensorial, que, a partir de um dado momento, passa a reconfigurar o circuito receptor. Depois dessa construção frenética de tecido e funções nervosas, acontece um descarte (*pruning*) de ligações que não se provam pragmaticamente utilizáveis. Essa limpeza especializa o sistema e confere ao indivíduo uma capacidade de aprendizagem estarrecedora, ainda não igualada por nenhum sistema artificial (Werker, Hensch 2015: 176):

A reconfiguração é então mediada pela poda física e pela regeneração homeostática das sinapses. Após chegar a um estado consolidado há o fechamento do Período Crítico que é mantido por freios funcionais e físicos. Estes limitam a plasticidade impedindo novas mudanças estruturais (Werker, Hensch 2015: 176, tradução nossa).

Tal dinâmica acontece de forma específica na maioria das espécies. Pode ser observada, por exemplo, no processo de desenvolvimento do canto do Estorninho-comum ou Estorninho-malhado. Alcock (2011) relata que somente os estorninhos do sexo masculino cantam e para que o padrão do canto complexo de uma dada comunidade seja desenvolvido em um indivíduo, ele precisa ouvir o canto do pai durante os quatro primeiros dias de vida. Depois dessa curta janela de tempo, o estorninho filhote não consegue mais desenvolver o canto como os machos daquela comunidade.

Assim, quando um estorninho filhote é estimulado por sons (dados primários) produzidos por um macho adulto dentro da janela de oportunidade, esses sons ativam sensores especiais que transmitem sinais a regiões do cérebro que se moldam para interpretar e produzir aquele som. Esse tempo curto é o período crítico para a formação de circuitos neurais que facultam os estorninhos com o canto e também com a aceitação no grupo.

Os bebês humanos também passam por períodos críticos necessários ao desenvolvimento de uma gama de cognições ao longo de seu desenvolvimento até a fase adulta. Por exemplo, ao nascer, o bebê humano tem uma boa visão para penumbra, mas não consegue ainda distinguir formas com incidência de luz. A visão do bebê vai naturalmente se especializando na medida em que ele começa a ser

exposto à luz e aos padrões visuais no seu entorno. O período crítico para o estabelecimento da visão humana é de aproximadamente nove meses (Banks, Salapatek 1983; Haith 1980).

Sucede dessa cognição, uma outra cognição de reconhecimento de faces que especializa a visão para reconhecer um conjunto especiais de traços, dispostos como em uma matriz bem definida, que formam a face de uma pessoa. Quando o bebê humano está sendo amamentado pela mãe, a distância entre o rosto da mãe e os olhos do bebê é ideal para que o bebê receba essas informações cruciais que vão redundar na percepção de um padrão das faces humanas e também na identificação do rosto de pessoas próximas, a começar pelo rosto da mãe. Com efeito, aos três meses, os bebês já podem diferenciar faces humanas de faces não humanas. Aos seis, já conseguem discriminar faces conhecidas de faces das pessoas pouco conhecidas e, depois, de expressões de face também (Morton et al 1991).

Com a cognição da visão se efetivando no cérebro, o bebê naturalmente desenvolve a capacidade de reconhecer objetos. Os neurônios que fazem essa leitura aceitam qualquer configuração de traços desde de que o contorno possa ser verificado. Dessa forma, depois que conhecemos o conceito de cadeira, por exemplo, e pareamos esse conceito com sua forma prototípica, não é difícil reconhecermos o objeto em qualquer perspectiva. Essa habilidade ficou conhecida como Rotação Mental, como ilustrado na Figura 3 (Shepard & Metzler, 1971; Field et al 1982).

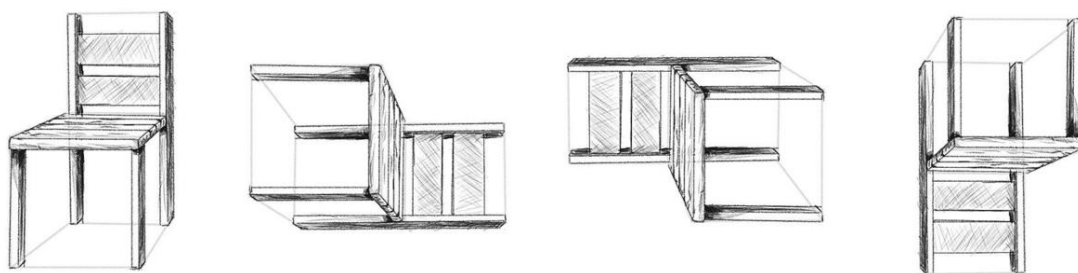


Figura 3: reconhecimento do objeto cadeira, sob quatro ângulos diferentes. Desenho de Henrique Conzatti, CC Share-Alike 3.0

Esta é a cognição que diz respeito especificamente à capacidade de atribuir rótulos precisos a objetos específicos, e também rótulos de processos, que implicam em análise de movimento. Implica também na capacidade de reconhecer um objeto em posição não canônica, o que nos obriga a processar uma série de transformações

de preservação de identidade, mesmo quando o objeto não está em um contexto que favoreça a sua identificação.

Para um melhor dimensionamento desse problema cognitivo podemos dizer que, no mundo real, cada encontro com um objeto é quase totalmente exclusivo, devido a transformações da imagem canônica que preservam a identidade do objeto. Há uma vasta gama de imagens possíveis que chegam na retina e resultam da visão de objetos que devem receber o mesmo rótulo. Por exemplo, quantas formas de carro conhecemos e rotulamos como carro. Cada objeto pode ser projetado em qualquer local na retina, a uma faixa de distâncias (variabilidade de muitos ângulos em relação ao observador), por um intervalo de tempo variado, sob diferentes condições de iluminação e em novos contextos. Há também objetos que tem a propriedade da deformação e outros que tem a cor com pouco contraste em relação ao fundo. Suplantamos todas essas variações e, na grande maioria das vezes, conseguimos reconhecer os objetos (Fabre-Thorpe et al, 1998; Rousset et al., 2002; Thorpe et al, 1996).

A capacidade de reconhecer objetos rapidamente, apesar da variação substancial de aparência e ângulos, é resolvida no cérebro através de uma cascata de cálculos reflexos, que culminam na representação neuronal no córtex temporal inferior. Apesar do algoritmo que produz esta solução de identificação estar muito além do escopo desse artigo, além de ser em parte desconhecido, há evidências de que micro redes com neurônios altamente especializados são ativados e engajados em caminhos neurais paralelos que convergem no processamento de componentes visual dos objetos (cf. DiCarlo, Zoccolan and Rust, 2012 para uma revisão completa).

O fenômeno do *imprinting* dos patos e gansos, o canto dos estorninhos e o reconhecimento de objetos, faces e das expressões faciais dos humanos são cognições que não necessitam de nenhum tipo de aprendizagem formal para se estabelecerem. São frutos de diferentes tipos de interação entre a carga genética e o meio, dispostos em diferentes pontos do *continuum* entre instinto e instrução, aqui sendo traçado.

Seguindo o *continuum*, está o desenvolvimento da linguagem no bebê humano que requer aumento significativo na complexidade das computações. Não há esforço consciente no desenvolvimento da linguagem, mas o desenvolvimento de linguagem é uma tarefa de alta complexidade. Como argumenta Chomsky (1957), qualquer ser humano exposto de forma cabal a uma determinada língua ou a mais de uma língua é

capaz de desenvolver linguagem. Isso ocorre de maneira sistemática e uniforme na espécie humana, sem necessidade de instrução formal.

A linguagem da criança cresce em sua mente assim como o sistema visual desenvolve a capacidade para a visão binocular ou assim como a criança entra na puberdade em um certo estágio de maturação. A aquisição de linguagem é alguma coisa que acontece com a criança, não é algo que ela faça (Chomsky, 1993: 29, tradução nossa).

A linguagem é outro exemplo de cognição mediada por período crítico. Testes de imagem revelam que a linguagem é mediada por desenvolvimento neuronal excepcional, com instâncias de exacerbada plasticidade neuronal formando circuitos competentes e dedicados às complexas computações de linguagem de uma ou mais línguas naturais, especialmente nas regiões perisilvianas do hemisfério esquerdo do cérebro (Vannest et al 2006; Pena, Maki, Kovacic 2003; Imada et al 2006).

A razão porque a linguagem não se desenvolve em outras espécies, é outro tema que vai muito além do escopo desse artigo e já tem sido suficientemente investigada em programas de pesquisa consagrados (*cf.* Hauser, Chomsky, Fitch 2002). Porém, um aspecto dessa discussão é bem menos estudado e merece ser discutido aqui: o fato de a biologia dos humanos se estruturar fortemente em neotenia, ou seja, o fato de nossa espécie passar por um período marcadamente mais longo de infância do que passam outros animais.

3. SOBRE A NEOTENIA HUMANA

Considere que as mudanças ontogenéticas na evolução de uma espécie resultam em diferenças de ordem cronológica no desenvolvimento do traço ou comportamento X. Essas mudanças podem resultar no atraso ou no desenvolvimento precoce de X em comparação com seu ancestral, no deslocamento temporal do desenvolvimento de X ao longo do crescimento dos descendentes, ou mesmo no encurtamento ou no alongamento do desenvolvimento de X. O último caso é chamado de Neotenia. Nesse sentido, a neotenia se refere a um atraso no desenvolvimento de um traço ou comportamento da espécie.

No que diz respeito ao nosso organismo e comparando-o com o dos chimpanzés, estes últimos que já são considerados neotênicos nascem com cerca de 30-50% do volume cerebral considerado padrão para os adultos da espécie (Desilva & Lesnik, 2006). Já o *homo-sapiens* nasce com cerca de 24-31% do volume (Rice, 2001;

Sakai *et al.* 2011). Os bebês humanos nascem, assim, marcadamente mais despreparados para lidar com o ambiente do que outras espécies primatas e animais. Por outro lado, o fato de ter um organismo e, conseqüentemente, um sistema nervoso mais imaturo, demonstra uma flexibilidade maior para lidar com esse mesmo ambiente após seu desenvolvimento físico e cognitivo, o que também é perceptível fisicamente, com uma maior maleabilidade do desenvolvimento das conexões neuronais de humanos em comparação com o dos chimpanzés (Gomez-Robles *et al.* 2015). Um dos motivos para isso, ao que tudo indica, é que a maior parte do desenvolvimento do organismo humano se dá já em contato direto com o ambiente. Espécies que desenvolvem uma parte considerável do seu programa genético antes do contato com o meio, tendem a ter comportamento muito semelhante, baseado em instintos. O contrário acontece quando temos um programa genético mais aberto, que permite que o meio atue no desenvolvimento do indivíduo, gerando maior variabilidade comportamental (Johnson, 2001).

A neotenia parece ser um fator explicativo para que os bebês humanos nasçam com uma gama muito menor de cognições espontâneas, já prontas para a atuação, desde as mais instintivas e fixas, uma vez que somos muito imaturos para atuar no meio, até as mais complexas, explicando, por exemplo, uma capacidade biológica para tamanha variação nas línguas humanas.

Sugar o leite do seio da mãe é uma delas, embora esse instinto nos humanos não se acompanhe, como nos felinos, de movimentos estereotipados dos membros superiores em direção às mamas da mãe para facilitar a descida do leite. Na amamentação humana, o bebê só tem que coordenar os músculos da sucção; ele é totalmente dependente da postura e do suporte da mãe (Ramos 2004).

Em termos de locomoção também somos bem atrasados em relação a todas as outras espécies. Somos os animais que mais demoram para começar a se mover com independência. A maioria dos mamíferos se levantam algumas horas após terem nascido. Nossa espécie precisa de cerca de um ano para começar a andar, especialmente com nosso padrão de deambulação. Assumimos a “postura plantígrada”, ou seja, usamos toda a extensão dos pés para caminhar, e esse padrão demanda mais coordenação e controle motor do que outras espécies (Schmitt, 2003).

Nesse sentido, é possível afirmar que os casos do *imprinting* dos gansos e do reconhecimento e fuga de predadores das zebras se devem ao fato de eles nascerem mais preparados para o seu ambiente, com seu programa genético mais fechado. Os

primatas não-humanos teriam um programa genético mais aberto, permitindo aprender com o meio ao ponto de manipular ligeiramente o ambiente para suas necessidades ao, por exemplo, criar ferramentas (Van Schaik et al, 1996; Van Schaik 2003).

No caso dos humanos, considerando que atrasamos grande parte de nosso desenvolvimento cognitivo para a primeira década da vida pós-natal, essa característica permite que nosso programa genético seja ainda mais aberto, dando mais possibilidades de aquisição de padrões do ambiente. Nosso cérebro cresce paulatinamente e pode, a partir dos estímulos do meio, fazer escolhas que moldam a neurofisiologia das experiências de forma muito especializada, como no caso do bebê que adquire qualquer língua que for falada de forma constante em seu ambiente.

Dessa forma, é possível especular que a neotenia no *homo-sapiens* é um fator que concorre para a aquisição da linguagem nos humanos. Nosso programa genético mais aberto e o fato de nascermos com um volume cerebral proporcionalmente menor do que o de outras espécies (Lenneberg, 1967; Rice, 2001), parece proporcionar o desenvolvimento do organismo de cada indivíduo considerando uma adequação à estimulação ambiente. Isso ao mesmo tempo nos permite a aquisição dos padrões desse ambiente, como a língua falada pelas pessoas a sua volta, ao mesmo tempo em que permite que dois indivíduos sejam diferentes (sotaques ou até línguas diferentes) e lidar com essas diferenças.

É claro que nem todas as cognições no homem tem um desenvolvimento lento. O reconhecimento de objetos e de faces acontece desde os primeiros dias de vida, como veremos a seguir.

4. A VISÃO DOS CONTORNOS E O RECONHECIMENTO DOS OBJETOS

A capacidade dos bebês humanos prestarem atenção e reconhecerem objetos começa desde o nascimento. Esta capacidade é atingida em função do desenvolvimento do processamento visual durante os primeiros 9-10 meses de vida do bebê, assim como de sua memória e atenção. A atenção está fortemente relacionada memória de reconhecimento, outra função cognitiva central que está presente desde o nascimento do ser humano e continua se aprimorando por toda a vida, já que sempre aumentamos o número de objetos que reconhecemos (Rose 1983; Rose, Feldman, Jankowski, 2004).

Ao reconhecermos um objeto, características como distância (se é visto de longe ou de perto), orientação espacial (se está mais à direita ou à esquerda) e iluminação, por exemplo, não apresentam grande relevância. O reconhecimento de objetos se realiza, principalmente, devido à capacidade de identificação de seus limites externos, como textura e ângulos de seus contornos estando o objeto em qualquer orientação.

Grande parte dos neurônios do córtex temporal inferior apresenta uma resposta bem rápida a formas específicas de configurações visuais presentes no exterior de objetos de três dimensões. Portanto, o reconhecimento de objetos se dá principalmente pela identificação de pontos estratégicos de junção.

Note-se que se as junções são apagadas (Figura 4), o reconhecimento de um objeto se torna extremamente difícil. Entretanto, quando outros traços internos – que não os contornos – são suprimidos, o reconhecimento ainda se torna possível.

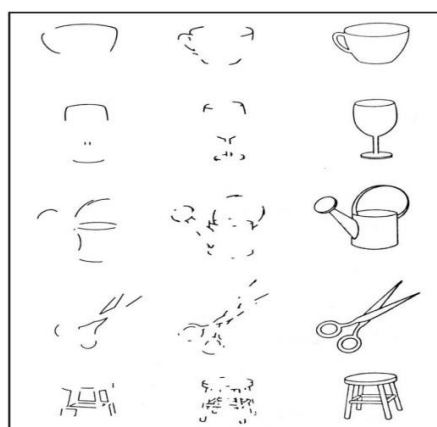


Figura 4: Na primeira coluna, os objetos aparecem com seus pontos de junção, e seus traços externos apagados, o que torna a identificação muito difícil. No entanto, quando as junções são preservadas, como na segunda coluna, o reconhecimento se torna bem mais simples. (coluna do meio, cf. Bierderman, 1987, apud Dehaene, 2012, p.159).

Nota-se ainda que esses pontos de ligação entre os contornos dos objetos, também são com frequência escolhidos para constituir unidades de escritas em diferentes sistemas ortográficos. Como ilustra a Figura 5, depreendem-se nos ângulos de um simples cubo, exatamente os ângulos e linhas que formam algumas letras do nosso alfabeto. Essa configuração visual parece ajudar as crianças em fase de alfabetização a representar no cérebro e passar a reconhecer as letras do alfabeto. Assim, pode-se dizer que os precursores do reconhecimento de letras, parecem serem convenientemente formados, antes do primeiro ano de vida, durante a especialização visual para o reconhecimento de objetos (Dehaene, 2005).

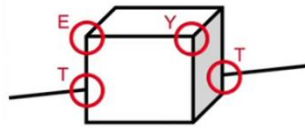


Figura 5: Desenho em perspectiva de um cubo ressaltando junções encontradas em objetos de três dimensões (Dehaene, 2012:156).

5. O RECONHECIMENTO DE FACES E OS DETALHES INTERNOS

Se o reconhecimento de objetos é possível graças à identificação de seus contornos, o reconhecimento de faces, se dá principalmente a partir da capacidade de reconhecer e representar no cérebro um conjunto de traços internos da face que identificam uma pessoa.

Ao longo do curso da evolução do homem, a capacidade de reconhecer faces que surgem repentinamente ou que se aproximam rapidamente se colocou como uma habilidade relevante para o estabelecimento e manutenção das relações sociais. Com efeito, existe um campo fértil de estudos na neurociência sobre reconhecimento de faces e de expressões de face.

Estudos realizados com pacientes que se tornaram incapazes de reconhecer faces após sofrerem lesões no hemisfério direito evidenciaram que o reconhecimento da face humana se dá a partir de estruturas localizadas entre os lobos temporal e occipital, notadamente do lado direito do cérebro no giro fusiforme, local conhecido como Área da forma da face (FFA), (McCarthy et al., 1997; Bruce e Young, 1998) (Figura 6).



Figura 6: Área da Forma da Palavra, no giro fusiforme entre os lobos occipital e temporal direito (Calder, Young, 2005:132.)

O reconhecimento da face segue um padrão visual determinado em função da relação espacial fixa estabelecida entre os elementos que compõem a face, pessoa a

pessoa, partindo da testa, sobrancelhas, olhos, nariz, boca e queixo (Bruce & Young 1998). Já que os rostos com frequência exibem correspondência entre as hemifaces, o indivíduo decodifica e representa na memória as medidas das linhas internas de apenas uma hemiface do rosto. Em seguida, generaliza essas informações em espelho, ou seja, transmite as medidas colhidas em uma hemiface para a outra hemiface. As linhas do rosto formam ângulos de características faciais padrão. A distância entre esses traços é percebida de forma extremamente precisa, representando no cérebro uma estrutura simétrica capaz de identificar uma pessoa (Figura 7).

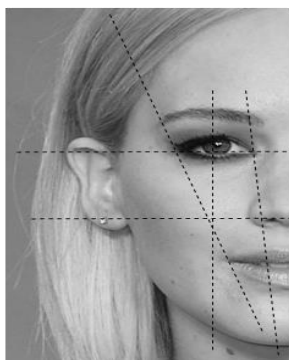


Figura 7: Os traços da face constituindo ângulos faciais padrão.

A percepção das linhas é, portanto, configuracional. Isso significa que o reconhecimento de face se dá a partir da assimilação de um todo indecomponível e não pela identificação de cada elemento facial de maneira isolada. Há uma universalização dos componentes do rosto. Portanto, as especificidades das medidas internas da hemiface tornam o reconhecimento possível.

Há evidências experimentais de que o reconhecimento de face decorre da decodificação dos elementos faciais com um todo, no hemisfério direito do cérebro. Um desses experimentos consistiu na identificação, inicialmente, da metade – superior ou inferior – de uma face famosa como a da figura 8. O participante era encarregado de dizer a quem pertenciam as faces. Quando apresentadas as metades isoladas, os participantes acertavam com exatidão. Entretanto, quando exibidas a parte superior de uma face e a inferior de outra, em desalinhamento, o reconhecimento não foi possível (Young, Hellarwell, Hay 1987).



Figura 8: Primeira foto: foto composta pela metade superior: político Eduardo Cunha; e pela metade inferior: técnico de futebol, Tite. Segunda foto: O treinador de futebol, Tite. Terceira foto: o político Eduardo Cunha.

A identificação das medidas internas da face se dá apenas em posição erguida, “de pé” – *upright*, obedecendo, pois, o ordenamento dos elementos da face que estão dispostos no sentido vertical. Entretanto, se a orientação é forçada de cabeça para baixo (Figura 9), o sistema quebra. Quando estão de cabeça para baixo, as faces são reconhecidas preferencialmente a partir dos seus contornos, não mais pelos traços internos (Dehaene, 2012). Dessa forma, quando alteramos as feições de uma face, a ponto de desfigurá-la, alteração conhecida como *thatcherização*, a simples inversão da orientação ao longo do eixo horizontal, virando-se a foto de ponta cabeça, faz com que não se percebam as alterações feitas aos traços internos da imagem. Se ocorrer ainda assim reconhecimento de face por parte do observador, é porque ele utilizou recursos da leitura externa, do contorno da face. Note que esse efeito também pode ser notado em relação à Figura 9 mesmo quando sabemos de antemão que a primeira foto foi *thatcherizada*.



Figura 9: A face do político Eduardo Cunha *thatcherizada* em posição invertida e ao lado, a mesma imagem “em pé”. Note-se que a manipulação da imagem só é percebida na foto “em pé”.

Alguns autores relatam terem encontrado especialização também para o reconhecimento de casas, plantas e veículos que existem em enorme variabilidade mas que sempre na mesma orientação vertical, por exemplo o telhado das casas está quase sempre para cima, as raízes das plantas para baixo e as rodas dos veículos para baixo (Dicarlo, Zoccolan & Rust, 2012).

Uma vez que o reconhecimento de face parece acontecer de forma mais automática no ser humano, seria possível dizer que se trata de uma cognição menos aberta a variação. Porém, ainda é possível destacar que essa habilidade também depende dos dados com os quais somos expostos. Por exemplo, existe uma maior facilidade de reconhecermos faces de pessoas de uma faixa etária semelhante (Rhodes & Anastasi, 2012 para uma meta análise) e de nosso mesmo grupo étnico (Meissner & Brigham 2001, para uma revisão).

6. A RECICLAGEM NEURONAL E A TEORIA DA ÁREA DA FORMA VISUAL DA PALAVRA ESCRITA

O entendimento de toda a especificidade genética para moldar diferentes cognições e traços formais das espécies começou a partir da Teoria da Evolução das Espécies de Charles Darwin (1859). Darwin abordou a transmissão de características das espécies mesmo antes da inauguração da Genética por Gregor Mendel. Em dezembro de 1831, a bordo do H.M.S. Beagle, em uma expedição científica que se destinava a fazer um levantamento dos recursos e da cartografia das costas setentrionais da América do Sul, Darwin se apercebeu de que havia fósseis de esqueletos de espécies gigantes que eram semelhantes aos esqueletos das espécies existentes naquele período, só que muito maiores. “Por que as espécies diminuíram?”, perguntava-se, e assim começava a questionar a imutabilidade das espécies, central para o *Conceito Estático da Terra*, como queria a visão religiosa criacionista.

Darwin começou a suspeitar que o meio ambiente seria então o responsável pela seleção dos organismos mais resistentes e pela eliminação dos mais sensíveis, marcando assim o processo de seleção natural, que favorece a proliferação apenas daqueles indivíduos que melhor se adaptam ao seu meio.

Assim, a Teoria da Evolução, conhecida como Darwinismo Clássico, entende que durante a seleção natural os seres mais adaptados permanecem vivos e se

reproduzem, enquanto os menos adaptados acabam desaparecendo antes de terem chance de se reproduzir. Com isso, os indivíduos adaptados tendem a deixar descendentes que confirmam os traços genéticos mais fortes e formam uma população de animais mais adaptados ao ambiente em que vivem.

A habilidade de reconhecimento de objetos e faces são dotações que foram selecionadas durante a evolução da espécie por trazerem vantagens adaptativas. Os humanos começam a desenvolver essas habilidades antes mesmo de terem a cognição da visão totalmente desenvolvida e as áreas do córtex terem sido integralmente formadas (Bertenthal et al. 1987; Bonatti et al. 2002; Booth et al. 2002). Ou seja, essas são tarefas cognitivas que lentamente se impuseram a partir de pressão evolutiva, já que são conectadas à necessidade primitiva do homem discriminar vida ao seu redor através de traços de animacidade nas faces. É também vantajoso reconhecer os homens por sua face e reconhecer os humores humanos através de suas expressões. Todas essas vantagens se impuseram evolutivamente no DNA e o homem, então, tornou-se geneticamente preparado para identificar objetos e rostos, sem nenhum aprendizado ou instrução formal.

Já o desenvolvimento ontogenético da habilidade de reconhecer faces é bastante discutido, contando com pesquisas como as de Gauthier et al. 1999 e o review de Bukach et al. 2006 que argumentam que se trata de uma habilidade dependente da experiência. Por outro lado, pesquisadores como Wilmer et al. 2010 e Zhu et al. 2010 defendem se tratar de uma habilidade inata. Ao menos a preferência para faces primatas/humanas parece ser uma preferência inata, visto que primatas recém-nascidos que nunca foram expostos a faces apresentam preferência de olhar para faces comparada a de objetos (Sugita, 2008).

Pensemos agora na cognição da leitura. Seu aparecimento é bem recente, datando de cerca de 5000 anos e é dependente de exposição cultural a um sistema de escrita. Essa implementação cultural ainda não teve tempo para causar pressões adaptativas suficientemente fortes para que o reconhecimento de letras já se encontre codificado no nosso DNA. Contudo, mediante boa instrução, as crianças aprendem a ler de forma reflexa.

Dehaene (2005) explica esse aparente paradoxo identificando uma nova estratégia de aquisição de cognição: a *Reciclagem Neuronal*. A leitura seria, então, fruto de reciclagem dos neurônios preparados para processar objetos e rostos, que estão bastante codificados na nossa espécie. Por ocasião da alfabetização, parte destas

duas funções cerebrais é reciclada de modo a acomodar os atributos da palavra escrita, absorvidos culturalmente e, então, representados no cérebro (programa genético mais aberto). É um processo que fica no meio termo entre dotação da espécie, como o reconhecimento da animacidade, e aprendizagem explícita, que depende de instrução, como quando nos dispomos a aprender física, o que o torna um excelente exemplo da capacidade de adaptação de uma espécie radicalmente neotênica como o *homo sapiens*. Na reciclagem, os componentes naturais do sistema nervoso humano funcionam como base para absorver outras regularidades adquiridas durante o curso da evolução humana (Dehaene et al., 2010; Dehaene-Lambertz & Dehaene, 1994):

Longe de ser um quadro em branco que absorve tudo ao seu redor, nosso cérebro se adapta a uma dada cultura adaptando minimamente sua predisposição a um uso distinto. Não é uma tabula rasa [...], mas um dispositivo cuidadosamente estruturado, capaz até de converter algumas de suas partes para um novo uso. Quando adquirimos uma nova habilidade, reciclamos parte dos antigos circuitos do nosso cérebro primata – mas apenas na medida em que esses circuitos toleram mudanças (Dehaene, 2005:7, tradução nossa).

Fruto da reciclagem neuronal é a formação de uma região própria para a leitura de palavras escritas, a Área da Forma Visual da Palavra Escrita (*Visual Word Form Area - VWFA*), que surge na região occípito-temporal ventral, acomodada dentro do giro fusiforme, localizado no hemisfério esquerdo do cérebro (Cohen et al., 2000).

Ao passar pela retina, toda informação visual é transportada para regiões occipitais correspondentes nos dois hemisférios, onde há uma concentração de detectores visuais responsáveis pelo tratamento das imagens. Logo em seguida, ocorre, nessa área, a triagem desse material visual. Cada domínio do córtex reage preferencialmente a uma categoria de imagem.

Há a região cujos neurônios são ativados especificamente pela imagem de casas, transportes e paisagens. Essa região se especificou para reconhecer objetos que tem um alinhamento no eixo vertical. Não vemos casas com telhado para baixo, nem plantas com raízes para cima. Contudo, há muitas formas de casas e plantas. Ou seja, o reconhecimento desses objetos envolve um tecido que perceba variâncias (forma) e invariâncias (alinhamento vertical). A região que é ativada para perceber a forma visual das palavras (*VWFA visual word form area*) encontra-se disposta entre a área de reconhecimento de faces e a de objetos. Note-se que essas regiões são

sistematicamente dispostas de maneira bem similar nos indivíduos, nas áreas assinaladas na Figura 10 (Ishai et al., 2000; Puce et al., 1996).

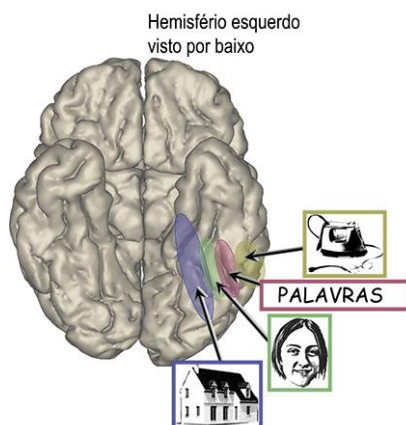


Figura 10: Esquema delimitando as áreas contíguas fronto-parieto-occipitais do hemisfério esquerdo que se especializam no reconhecimento de casas, faces, palavras e objetos, segundo Ishai et al (2000).

Além disso, a implementação cultural da escrita faz com que o giro fusiforme esquerdo se recicle: antes da alfabetização, ele reage ao reconhecimento de faces e, depois da alfabetização, passa a responder ao reconhecimento de letras.

Reciclar uma área do cérebro própria para o reconhecimento de faces em prol da leitura tem suas vantagens. Entretanto, herdamos características próprias da antiga cognição. Uma consequência relativamente negativa da reciclagem neuronal para a leitura é a não sensibilidade para lateralidade no eixo horizontal. Essa característica se configura como uma medida econômica especializada para o reconhecimento de faces, uma vez que, durante tal processo, identificam-se apenas as medidas internas de um dos lados da face apenas que são refletidas para a outra hemiface. Entretanto, a vantagem se torna desvantagem para a leitura, visto que induz ao espelhamento na escrita.

A leitura se efetiva a partir do momento em que a criança consegue ultrapassar a fase de espelhamento e “desaprende” a generalizar por simetria. Para isso, a criança precisa aprender os diferentes contornos e orientações das letras durante o processo de alfabetização. Gradualmente, essa aprendizagem motora é transmitida às vias visuais.

Enfim, a leitura, desenvolvida a partir de esforço cognitivo consciente e estabelecido socialmente, herda do reconhecimento de faces a percepção do encontro das linhas internas da face. Alguns neurônios destinados à identificação de rostos se reciclam de modo a colaborar com o processo de alfabetização. A capacidade de realizar a análise do encontro das linhas da face é também estendida para o processamento da escrita.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa revisão percorreu diferentes dinâmicas de interação de módulos cognitivos que definem uma gama de possibilidades de desenvolvimento cognitivo em um indivíduo. Para fins didáticos, concebemos um *continuum* (Figura 11) que parte das cognições mais espontâneas, já prontas ao nascimento, até às menos reflexas fruto de esforço consciente, seguidas por outras cognições que são adquiridas em sociedade.

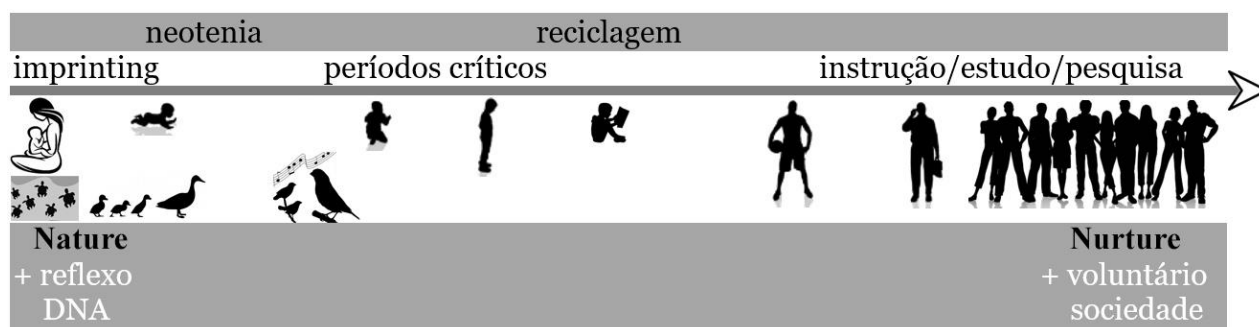


Figura 11: Continuum organizando uma dinâmica de interação *nature-nurture*.

Começando pela ponta mais reflexa apresentamos os casos de imprinting, seguidos de cognições incrementadas dentro de janelas de tempo estabelecidas pela espécie a partir da exposição ao meio. Nesses últimos estariam as cognições de base genético-social, como a maturação da visão, que acontecem durante períodos críticos menos e mais restritivos. Apresentamos também a possibilidade de sistemas cognitivos mais complexos, como a linguagem no homem, contarem ainda com um expediente especial de desenvolvimento, a neotenia, que assumiria um papel adjuvante por promover nos humanos um período mais longo de flexibilidade neuronal. Adiante estão cognições adquiridas através da inserção social, menos reflexas, e que atuam em tarefas aprendidas a partir de instrução explícita ou imitação. Nesse ponto estão os atos cotidianos de amarrar os sapatos, andar de

bicicleta, nadar. A habilidade facultativa de ler, desenvolvida pelo cérebro humano a partir da alfabetização, é um caso especial nesse grupo. Apesar de necessitar, na maior parte das vezes, de instrução explícita, a leitura é uma cognição que atinge alto grau de automaticidade, estando à reboque de sistemas automatizados como a linguagem e o processamento de objetos e faces, como prevê a hipótese da reciclagem neuronal (Dehaene, 2004). Por fim, estão as cognições mais complexas que são mediadas e monitoradas conscientemente por outros sistemas cognitivos de memória, atenção, cálculo, como, por exemplo, a demanda cognitiva para o engajamento em pesquisa científica e tantas outras especializações profissionais complexas que dependem do esforço cognitivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCOCK, J. *Comportamento animal: uma abordagem evolutiva*. São Paulo: Artmed, 2011.
- BANKS, M., SALAPATEK, P. Infant visual perception. In: MUSSEN, P H. *Infancy and Developmental Psychobiology*. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- BECHTEL, W.; ABRAHAMSEN, A.; GRAHAM, G. Cognitive Science: History, In: Smelser, N; Baltes, P.N (ed.) *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, Elsevier, 2001.
- BERTENTHAL, B. I., PROFFIT, D. R., & KRAMER, S. J. Perception of biomechanical motions by infants: Implementation of various processing constrains. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1987.
- BIEDERMAN, I. Recognition-by-Components: A Theory of Human Image Understanding. *American Psychological Association*, 1987.
- BONATTI, L., FROT, E., ZANGL, R., & MEHLER, J. The human first hypothesis: Identification of conspecifics and individuation of objects in the young infant. *Cognitive Psychology*, n. 44, 2002.
- BOOTH, A. E., PINTO, J., BERTENTHAL, B. I. Perception of the symmetrical patterning of human gait by infants. *Developmental Psychology*, n. 38, 2002.
- BRUCE, V.; & YOUNG, A. In the eye of the beholder: The science of face perception. *Project MUSE*, v. 32, n. 3, 1999.
- BUKACH, C.M.; GAUTHIER, I.; TARR, M.J. Beyond faces and modularity: the power of an expertise framework. *Trends in Cognitive Science*. v.10, n.4, p. 159-166, 2006.
- CALDER, A. J.; YOUNG, A. W. Understanding the recognition of facial identity and facial expression *Nature Reviews Neuroscience* v 6, pages 641–651, 2005.
- CHOMSKY, N. *Syntactic Structures*. The Hangeue: Mouton, 1957.
- CHOMSKY, N. Review of Skinner's Verbal Behavior. *Language*, 35, p. 26–58, 1959
- COHEN, L., DEHAENE, S. Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *Neuroimage*, v. 22, 2004.

CURTISS, S. Revisiting modularity: Using language as a window to the mind. In: Piatelli-Palmarini M. & Berwick R. C. (Eds.), *Rich languages from poor inputs* (pp. 68–90). Oxford: Oxford University Press, 2013.

DEHAENE-LAMBERTZ, G., & DEHAENE, S. Speed and cerebral correlates of syllable discrimination in infants. *Nature*, 1994.

DEHAENE, S., PEGADO, F., BRAGA, L.W., VENTURA, P., FILHO, N., JOBERT, A., DEHAENE-LAMBERTZ, G., KOLINSKY, R.; MORAIS, J. COHEN, L. How learning to read changes the cortical networks for vision and language. *Science*, v.330, n.6009, p. 1359-1364, 2010.

DEHAENE, S. *Reading in the Brain: The Science and evolution of a human invention*. New York: Penguin Books, 2005.

DEHAENE, S. *Os Neurônios da Leitura: Como a Ciência Explica a Nossa Capacidade de Ler*. Porto Alegre: Penso, 2012.

DESILVA, J.; LESNIK, J. Chimpanzee neonatal brain size: implications for brain growth in homo erectus, *Journal of Human Evolution*, 51, 207-212, 2006.

DICARLO, J. J., ZOCCOLAN, D., RUST, N. C. How does the brain solve visual object recognition? *Neuron*, v.73, n.3, p. 415–434, 2012

FABRE-THORPE, M., RICHARD, G., and THORPE, S.J. Rapid categorization of natural images by rhesus monkeys. *Neuroreport* 9, p. 303–308, 1998.

FEDORENKO, E. (2014). The role of domain-general cognitive control in language comprehension. *Frontiers in Psychology*, v5, 335. 2014

FIELD, T., WOODSON, R., GREENBERG, R., COHEN, D. Discrimination and imitation of facial expression by neonates. *Science*, 1982.

FRANÇA, A.; FERRARI, L.; MAIA, M. *A Linguística no Século XXI - Convergências e Divergências no estudo da linguagem*. São Paulo: Editora Contexto, 2016.

FRANÇA, A.I.; LAGE, A.C. Uma visão biolinguística da arbitrariedade saussuriana. *Letras de Hoje*, v. 48, n. 3, 2013.

GAUTHIER, I.; TARR, M.J.; ANDERSON A.W.; SKUDLARSKI, P.; GORE J.C. Activation of the middle fusiform 'face area' increases with expertise in recognizing novel objects. *Nature Neuroscience*, v.2, n.6, p.568-573, 1999.

GÓMEZ-ROBLES, A.; HOPKINS, W.D.; SCHAPIRO, S.J.; SHERWOOD, C. Relaxed genetic control of cortical organization in human brains compared with chimpanzees. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 112, n.48, p.14799-804, 2015.

GOPNIC, A., MELTZOFF, A., KUHL, P. *The Scientist in the Crib: What Early Learning Tells Us About the Mind*, New York, NY: HarperCollins Publishers, 1999.

GRILL-SPECTOR, K.; KNOUF, N.; & KANWISHER, N. The fusiform face area subserves face perception, not generic within- category identification. *Nature Neuroscience*, v. 7, n. 5, p. 555-562, 2004.

HAITH, MM. *Rules that Babies Look By: The Organization of Newborn Visual Activity*. Erlbaum, 1980.

HAUSER, M., CHOMSKY, N., & FITCH, W. T. The language faculty: What is it, who has it, and how did it evolve? *Science*, v. 298, n. 5598, p. 1569-1579, 2002.

HENSCH, T. Critical Period Regulation. *Annual Review of Neuroscience*, v. 27, 2004.

HORN, G. *Memory, Imprinting, and the Brain*. Oxford: Clarendon Press, England, p. 234, 1985.

- IMADA, T., ZHANG, Y., CHEOUR, M., TAULU, S., AHONEN, A., KUHL, PK. Infant speech perception activates Broca's area: a developmental magnetoencephalography study. *Neuroreport*, 2006.
- ISHAI, AL. UNGERLEIDER, G. MARTIN, A. HAXBY, J.V. The representation of objects in the human occipital and temporal cortex, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, Suppl., p. 35-51, 2000.
- JOHNSON, M.H. Functional brain development in humans. *Nature Reviews Neurosciences*, v.2, p.475-483, 2001.
- KANWISHER, N., MCDERMOTT, J., & CHUN, M.M. The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *The Journal of Neuroscience*, v. 17, 1997.
- LENNEBERG, E. *Biological foundations of Language*. New York: Wiley, 1967.
- LIVNEH, Y.; ADAM, Y.; MIZRAHI, A.; Odor processing by adult-born neurons. *Neuron*. 81(5):1097-1110, 2014.
- LORENZ, K. *King Solomon's Ring: New Light on Animals' Ways*. Plume, 1949.
- MCCARTHY, G.; PUCE, A. ; GORE, J.C. ; ALLISON, T. Face-specific processing in the human fusiform gyrus. *Journal of cognitive neuroscience*, v.9, n.5, p.605-610, 1997.
- MEISSNER, C.A. & BRIGHAM, J.C. Thirty years of investigating the own-race bias in memory for faces: A meta-analytic review. *Psychology, Public Policy and Law*, v.7, p.3-35, 2001.
- MORTON, J., JOHNSON, M H. Conspic and Conlern: a two-process theory of infant face recognition. *Psychological Review*, v. 98, n.2, p.164-181, 1991.
- NEWMAYER, F.J. *The politics of linguistics*. Chicago: University of Chicago Press; 1986.
- NUÑEZ, C.M.V.; ASA, C.S.; RUBENSTEIN, D.I. Zebra Reproduction: plains zebra (*Equus Burchelli*), mountain zebra (*Equus Zebra*), and Grevy's zebra (*Equus Grevyi*) In: McKinnon A.O. (ed.) *Equine Reproduction*: Wiley-Blackwell, 2009.
- PENA, M., MAKI, A., KOVACIC, D. Sounds and silence: an optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003.
- PUCE, A., ALLISON, T., ASGARI, M., GORE, J. C., MCCARTHY, G. Differential Sensitivity of Human Visual Cortex to Faces, Letterstrings, and Textures: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *The Journal of Neuroscience*, August 15, 1996.
- RAKIC, P. Evolution of the neocortex: a perspective from developmental biology. *Nat Rev Neurosci*. Oct;10(10):724-35, 2009.
- RAMOS, V. The Biological Concept of Neoteny in Evolutionary Colour Image Segmentation - Simple Experiments in Simple Non-Memetic Genetic Algorithms. *ArXiv*, 2004.
[disponível em: <https://arxiv.org/abs/cs/0412080>; acesso em 09/06/2018]
- REIS, H.T., COLLINS, W.A., & BERSCHIED, E. The relationship context of human behavior and development. *Psychological Bulletin*, v.126, n.6, p.844-872, 2000.
- RHODES, M.G.; ANASTASI, J.S. The own-age bias in face recognition: a meta-analytic and theoretical review. *Psychological Bulletin*, v.138, n.1, p.146-174, 2012.
- RICE, S.H. The role of heterochrony in primate brain evolution. Pp. 154-170, In: N. Minugh-Purvis and K. J. McNamara, eds. *Human evolution through developmental change*. *Johns Hopkins Univ. Press*, Baltimore, 2001.

- ROSE, S.A. Differential rates of visual information processing in fullterm and preterm infants. *Child Development*, v.54, p. 1189–1198, 1983.
- ROSE, S.A., FELDMAN J.F., JANKOWSKI, J.J. Infant visual recognition memory. *Developmental Review*, v.24, p.74– 100, 2004.
- ROSSION, B. and GAUTHIER, I. How Does the Brain Process Upright and Inverted Faces? *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, v. 1, 2002.
- ROUSSELET, G.A., FABRE-THORPE, M., and THORPE, S.J. Parallel processing in high-level categorization of natural images, *Nature Neuroscience*, v.5, n.7, p.629–630, 2002.
- SAKAI, T.; MIKAMI, A.; TOMONAGA, M.; MATSUI, M.; SUZUKI, J.; HAMADA, Y.; TANAKA, M.; MIYABE-NISHIWAKI, T.; MAKISHIMA, H.; NAKATSUKASA, M.; MATSUZAWA, T. Differential prefrontal white matter development in chimpanzees and humans. *Current Biology*, v.21, n.16, p.1397-402, 2011.
- SCHMITT, D., Insights into the evolution of human bipedalism from experimental studies of humans and other primates. *The Journal of Experimental Biology*, v. 206, 2003.
- SKEIDE MA, FRIEDERICI AD. The ontogeny of the cortical language network. *Nature Reviews Neuroscience*, v.17, n.5, p.323-332, 2016
- SHEPARD, R. N.; METZLER, J. Mental Rotation of Three-Dimensional Objects, *Science*, v.171, n.3972, p.701–703, 1971.
- SUGITA, Y. Face perception in monkeys with no exposure to faces, *PNAS*, v.105, n.1, p.394-398, 2008.
- TINBERGEN, N. *The Study of Instinct Oxford*, Clarendon Press, pp. 475, 1951.
- THORPE, S., FIZE, D., and MARLOT, C. Speed of processing in the human visual system. *Nature*, n. 381, p. 520–522, 1996.
- VANNEST, J., KARUNANAYAKA, P. R., SCHMITHORST, V. J., SZAFIARSKI, J. P., & HOLLAND, S. K. Language networks in children: Evidence from functional MRI studies. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 2009.
- VAN SCHAIK, C.P; FOX, E.A.; SITOMPUL, A.F. Manufacture and use of tools in wild sumatran orangutans. *Naturwissenschaften*, v.83, n.4, p.186-188, 1996.
- VAN SCHAIK, C.P. Orangutan Cultures and the evolution of material culture. *Science*, v.299, n.5603, p.102-105, 2003.
- WANT, S.; PASCALIS, O.; BLADES, M.; COLEMAN, M.; Recognizing people from the inner or outer parts of their faces: Developmental data concerning ‘unfamiliar’ faces. *British Journal of Developmental Psychology*, n. 21:125–13; 2003.
- WERKER, J.F. & HENSCH, T.K. Critical periods in speech perception: new directions. *Annual Review of Psychology*. V. 3, n. 66, p.173-96, 2015.
- WILMER, J.B.; GERMINE, L.; CHABRIS, C.F.; CHATTERJEE, G.; WILLIAMS, M.; LOKEN, E.; NAKAYAMA, K.; DUCHAINE, B.; Human face recognition ability is specific and highly heritable, *PNAS*. v.107, n. 11, p.5238-5241, 2010.
- YOUNG, A.W.; HELLANWELL, D.J.; HAY, D.C. Configurational information in face perception. *Perception*, v. 16, 1987.
- ZHU, Q.; SONG, Y.; HU, S.; LI, X.; Tian, M.; ZHEN, Z.; DONG, Q.; KANWISHER, N.; LIU, J. Heritability of the specific cognitive ability of face perception. *Current Biology*. v.20, n.2, p.137-142, 2010.

Artigo recebido em 10 de julho de 2018.

Artigo aceito em 11 de setembro de 2018.