

A lateralidade humana: Quais explicações existem?

Human laterality: What explications are there?

Igor DUARTE DE ALMEIDA¹, Marcia Aparecida Silva BISSACO², Sérgio GOMES DA SILVA^{2,3,4}.

(1) Faculdade Unyleya. São Paulo – SP. Brasil.

(2) Núcleo de Pesquisas Tecnológicas. Universidade de Mogi das Cruzes. Mogi das Cruzes – SP. Brasil.

(3) Centro Universitário FAMINAS. Muriaé – MG, Brasil.

(4) Hospital do Câncer de Muriaé. Fundação Cristiano Varella (FCV). Muriaé – MG. Brasil.

Autor correspondente:

Igor Duarte de Almeida

E-mail: dr_igor@outlook.com

Endereço: Rua Luciano Godoi, 45 Jardim Márcia, Suzano.

São Paulo – SP. CEP: 08671-155. Brasil

Conflitos de interesse: Os autores deste artigo declaram que não possuem conflito de interesse de ordem financeiro, pessoal, político, acadêmico e comercial.

Agradecimentos: Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo ao Ensino e Pesquisa (FAEP) pelo apoio e suporte.

Recebido: 01/03/2021

Revisado: 22/06/2021

Aceito: 01/07/2021

Editor de Seção:

Dr. Ivair Matias Junior

Afiliação do Editor:

Centro Universitário

Claretiano de Batatais e

Universidade de São Paulo -

Ribeirão Preto (USP-RP).

Resumo

A lateralidade é o predomínio motor dos segmentos corporais em relação ao lado oposto. Estima-se que 90% da população mundial tem preferência pela mão e pé direitos, 5% pela mão e pé esquerdos e outros 5% são ambidestros. Os humanos são a única espécie que possui preferência motora por um lado do corpo. Conhecer os fatores que determinam essa preferência pode nos fornecer pistas sobre o desenvolvimento de doenças como a dislexia e TDAH que são mais frequentes em pessoas canhotas, abrindo novas janelas de pesquisa sobre essas doenças. **Objetivos:** Portanto, o objetivo dessa pesquisa é identificar as teorias existentes sobre a preferência motora nos seres humanos através de revisão bibliográfica e discutir se essas teorias realmente podem justificar a tal preferência. **Material e métodos:** Foi realizada uma busca bibliográfica nas bases PubMed, MedLine, Lilacs e periódicos Capes para encontrar as teorias sobre a preferência motora publicadas entre 1985 e 2020. **Resultados:** Após pesquisa nas bases de dados MedLine, PubMed, Lilac e portal de periódicos da Capes, selecionamos 28 artigos onde os autores sugerem que a lateralidade é influenciada pelos seguintes fatores: parto (1), medula espinal (2), corpo caloso (4), variações hormonais como da testosterona (5), ambiente (7) e genética (14). Alguns autores sugerem mais de uma explicação para esse fenômeno. **Conclusão:** Encontramos 6 teorias para a lateralidade dos humanos. Não há explicação concreta para a lateralidade, assim concluímos que a dominância cerebral pode ser influenciada por esses fatores, 4 intrínsecos e 2 extrínsecos.

Palavras-chave: canhotos, dominância cerebral, lateralidade.

Abstract

*The laterality is the motor predominance of the body segments in relation to the opposite side. It is estimated that 90% of the world population has a preference for the right hand and foot, 5% for the left hand and foot and another 5% are ambidextrous. Humans are the only species that has a motor preference for one side of the body. To know the factors that determine this preference can provide us with data about the development of diseases such as dyslexia and ADHD that are more common in left-handedness persons, opening up new research possibilities on these diseases. **Objectives:** The aim of this research is to identify existing theories about motor preference in human beings through literature review and discuss whether these theories can really justify such preference. **Material and methods:** A bibliographic search was carried out in PubMed, MedLine, Lilacs, and Capes portal to find theories on motor preference published between 1985 and 2020. **Results:** After searching the MedLine, PubMed, Lilac databases and Capes portal, we selected 28 papers where the authors suggest that laterality is influenced by the following factors: childbirth (1), spinal cord (2), corpus callosum (4), testosterone hormone (5), environment (7) and genetics (14). Some authors suggest more than one explanation for this phenomenon. **Conclusion:** We found 6 theories about human laterality. There is no concrete explanation for laterality, so we conclude that brain dominance can be influenced by these factors, 4 being intrinsic and 2 extrinsic.*

Keywords: left handedness, brain dominance, laterality.

1 Introdução

Algumas tarefas parecem ser únicas nos seres humanos, entre elas destacamos a linguagem, o bipedismo e a preferência motora por um dos lados do corpo. Animais não se comunicam verbalmente ou por símbolos e também não apresentam preferência motora por um lado do corpo, a não ser que sejam induzidos a pegar o alimento num ambiente controlado, na natureza são sempre ambidestros (HARCOURT et al., 1993; CHAPELAIN e BLOIS-HEULIN, 2006; KO, 2016).

Os humanos apresentam comunicação complexa por meio da fala, escrita e por símbolos, além disso, os humanos possuem preferência motora por um lado do corpo e isso parece ser exclusivo nessa espécie. Estima-se que 90% da população mundial tem preferência pela mão e pé direitos, 5% pela mão e pé esquerdos e outros 5% são ambidestros. A lateralidade parece acompanhar os humanos há pelo menos sete milhões de anos (UOMINU, 2018).

De acordo com Darwin (1875) e sua obra “a origem das espécies”, os humanos descendem de primatas e inúmeras semelhanças existem entre ambos, mas algumas dúvidas intrigam os estudiosos até hoje, como o fato de termos um cérebro tão especializado e os primatas ainda serem como os do passado. O que tem nos humanos que não tem nos primatas? Herculano-Houzel (2017) aborda essa indagação e apresenta o preparo do próprio alimento como justificativa pelo grande desenvolvimento cerebral humano. Partindo do mesmo questionamento, elaboramos outras questões: porque temos lateralidade e nossos primos não têm? É uma questão cerebral ou ambiental? A lateralidade nos deu alguma vantagem evolutiva ou é mera obra do acaso? Realmente Charles Darwin foi memorável em sua obra, mas não direciona nossa compreensão sobre a lateralidade humana.

Muitas explicações foram levantadas com supostas explicações sobre a preferência motora em humanos. São elas; Fatores ambientais, corpo caloso, genética, hormônio, medula espinal e problemas com o parto. Algumas explicações são bem intrigantes, outras mais parecem coincidência. De qualquer forma, foi válida a dedicação de inúmeros cientistas para esclarecer esse mistério da neurociência. Acreditamos que esse mistério ainda não foi elucidado, mas queremos nos assegurar que todas as teorias sobre a lateralidade nos seres humanos sejam catalogadas (WITELSON et al., 1991; GRIMSHAW et al., 1995; LALAND et al., 1995; HEIKKILÄ et al. 2018).

Portanto, o objetivo desse artigo é realizar uma pesquisa bibliográfica com as possíveis explicações para a lateralidade humana, de modo que, ao final dela, os leitores poderão refletir sobre as diversas explicações possíveis para a dominância motora nos seres humanos.

2 Métodos

Para alcançar os objetivos, foi realizada uma pesquisa retrospectiva no formato de revisão integrativa. As buscas foram concentradas nas principais bases de dados online, onde se esperava abundante material, em nível nacional como o portal de periódicos da Capes e Bireme, bem como nas bases internacionais como PubMed, MedLine, Lilacs. O site de busca científica Google acadêmico também serviu como fonte de busca, sendo utilizadas palavras-chaves em português, espanhol e principalmente, inglês.

Foram utilizadas as seguintes palavras-chave: lateralidade, canhotismo e dominância cerebral. As mesmas palavras-chave foram utilizadas em espanhol (*lateralidad, zurdo y dominancia cerebral*) e inglês (*laterality, left-handedness and brain dominance*). Critérios de inclusão: foram incluídas nessa revisão bibliográfica, todas as pesquisas que apresentam uma possível justificativa para a lateralidade humana com data de publicação a partir do ano de 1985 publicadas nos seguintes idiomas, português, inglês e espanhol. Algumas pesquisas apresentam mais de uma possível justificativa para a lateralidade humana e também foram incluídas nessa pesquisa.

Critérios de exclusão: durante a busca conseguimos 537 artigos relacionados com lateralidade em geral, na maior parte referindo-se à posição de órgãos, mas sem nenhuma relação com nosso tema. Portanto, foram excluídas pesquisas que não apresentam uma possível justificativa para a lateralidade ou dominância cerebral, pesquisas publicadas anteriormente ao ano de 1985 e pesquisas publicadas em língua diferente do português, inglês ou espanhol num total de 509 artigos. Descartamos as pesquisas cujos títulos não mostraram relação com o nosso tema. Foram lidos os resumos das pesquisas cujos títulos apontava para alguma relação com esse artigo.

Os artigos selecionados foram lidos na íntegra para validar sua inclusão ou exclusão. Ao todo, 28 artigos foram selecionados e os dados serão apresentados nos resultados a seguir.

3 Resultados e Discussão

Após realizar a busca pela literatura científica e levando em consideração os critérios de inclusão e exclusão, selecionamos os artigos com suas respectivas explicações para a lateralidade humana. A busca mais próspera foi realizada com a palavra *left-handedness* que é a tradução para canhoto em português. Todos os trabalhos possuem data de publicação, variando entre os anos de 1985 e 2018.

A lateralidade é um fenômeno presente exclusivamente nos seres humanos e isso intriga os cientistas há muito tempo, pois não sabem que tipo de vantagem evolutiva os humanos tiveram por terem preferência motora por um dos lados do corpo. Várias teorias foram apresentadas ao longo do tempo para explicar esse fenômeno. A seguir, apresentaremos as teorias mais frequentes sobre a lateralidade nos seres humanos (WITELSON et al., 1991; GRIMSHAW et al., 1995; LALAND et al., 1995; HEIKKILÄ et al., 2018).

O artigo de Heikkilä et al. (2018) é o único que sugere complicações da gestação, baixo peso ao nascimento e parto prematuro como forte influenciador sobre a escolha do lado esquerdo na criança. Nesse caso, o cérebro é induzido a escolher o lado esquerdo pelo baixo desenvolvimento cerebral ou algum outro complicador relacionado ao desenvolvimento gestacional.

Em 1996, Melsbach et al. (1996) propuseram que a medula espinal seja a responsável pela escolha do hemisfério dominante. Ocklenburg et al. (2017) também apontaram para a medula espinal como sendo a responsável pela escolha da lateralidade nos seres humanos. De acordo com os autores, o cérebro é influenciado pela medula espinal de alguma forma ainda desconhecida e isso determina a lateralidade dos humanos. Os autores justificam que os fetos preferem levar a mão direita à boca. Durante o desenvolvimento fetal, não há plena comunicação do córtex motor com a medula espinal, mesmo assim os fetos já possuem preferência.

Quatro artigos sugerem que o responsável pela preferência lateral seja a maior comissura cerebral, o corpo caloso. Segundo essas teorias, a formação cerebral é a responsável pela escolha do lado dominante. Nesse caso o único responsável pela preferência motora seria o próprio centro de controle motor, o cérebro (WITELSON e NOWAKOWSKI, 1991; WELCOME et al., 2009; LUDERS et al., 2010; COWELL e GURD, 2018;). Os autores não descrevem qual interferência o corpo caloso induz ao centro de controle motor, porém um dado

chama a atenção, em gêmeos monozigotos, o irmão canhoto sempre possui o corpo caloso mais espesso.

Cinco autores referem à exposição hormonal durante a gestação como o fator desencadeador da lateralidade motora em seres humanos. Assim o cérebro não teria relação direta com a escolha do lado e o desenvolvimento da lateralidade, tal fenômeno seria resultado da interação dos diversos hormônios sobre a estrutura, a formação e o funcionamento do sistema nervoso (GRINSHAW et al., 1995; LUST et al., 2011; HAMPSON e SANKAR, 2012; MCKEEVER, 2000; SMITH e HINES, 2000). Testosterona é o hormônio referido pelos autores. A justificativa se dá por sua abundância no organismo masculino e a incidência do canhotismo em homens ser o dobro quando comparado com as mulheres.

Uma quantidade considerável dos artigos estudados (7 artigos) aponta para fatores ambientais e culturais como os responsáveis pela preferência motora (LALAND et al., 1995; PROVINS, 1997; NAGY, 2005; ZVEREV, 2006; MEDLAND et al., 2009; VUOKSIMAA et al., 2009; SOUZA e TEIXEIRA 2011).

No Brasil, por exemplo, sempre foi considerado errado escrever com a mão esquerda e as crianças eram obrigadas a desenvolver a lateralidade do lado direito, provando que há sim uma forte pressão social. Costa (2014) diz que a igreja católica sustentou por mais de 1000 anos que pessoas canhotas são obra do diabo. Essa afirmação ainda ecoa os 4 cantos do país e esse mito influenciou muitas famílias a interferirem no desenvolvimento da preferência motora natural da criança. Nessa teoria, o cérebro e o comportamento motor são moldados por fatores exógenos como a forte influência dos deuses que são maioria e não querem que seus filhos sofram por serem considerados filhos do diabo.

Por fim, um grupo de 14 artigos apontou fatores genéticos como sendo os responsáveis pela preferência motora nos seres humanos. Pela teoria genética, o sistema nervoso já está predisposto a ter uma preferência pelo lado direito ou pelo lado esquerdo. O gene em destaque é o LRRTM1 e está localizado no cromossomo 2 e apontado como o responsável pela inversão do controle motor cerebral dos canhotos (GESCHWIND e GALABURDA, 1985; BRYDEN, 1990; DAVIS e ANNETT, 1994; ANNETT, 1994; LALAND et al., 1995; HEPPER et al., 1998; MCKEEVER, 2000; SOMMER et al., 2002; FRANKS et al., 2007; MEDLAND et al., 2009;

SOUZA e TEIXEIRA, 2011; HAMPSON e SANKAR, 2012; ARNIG et al., 2015; OCKLENBURG et al., 2016).

Todos os artigos selecionados abordaram a lateralidade e apontaram para algum fator como a causa da preferência motora nos humanos. Os artigos foram agrupados no quadro 1 seguindo a ordem de sua publicação. As colunas do quadro 2 indicam as possíveis causas da lateralidade de acordo

com as pesquisas mencionadas. Alguns artigos mencionam mais de uma possível explicação para a lateralidade como: Laland et al. (1995), Medland et al. (2009) e Souza, Teixeira (2011) que apontam para fatores ambientais e fatores genéticos e Melsbach et al. (1996) que aponta para a medula espinal e exposição hormonal.

Quadro 1. Hipóteses de lateralidade em ordem de publicação.

Artigos	Medula espinal	Corpo caloso	Hormônio	Ambiente	Genética	Parto
Geschwind <i>et al.</i> (1985)						
Bryden (1990)						
Witelson <i>et al.</i> (1991)						
Grimshaw <i>et al.</i> (1995)						
Davis <i>et al.</i> (1994)						
Annett (1994)						
Laland <i>et al.</i> (1995)						
Melsbach <i>et al.</i> (1996)						
Provins (1997)ab						
Hepper <i>et al.</i> (1998-2005)						
Vuoksima <i>et al.</i> (1999)						
Smith <i>et al.</i> (2000)						
Mckeever (2000)						
Sommer <i>et al.</i> (2002)						
Nagy <i>et al.</i> (2005)						
Zverev (2006)						
Francks <i>et al.</i> (2007)						
Welcome <i>et al.</i> (2009)						
Medland <i>et al.</i> (2009)						
Luders <i>et al.</i> (2010)						
Luts <i>et al.</i> (2011)						
Souza <i>et al.</i> (2011)						
Hampson <i>et al.</i> (2012)						
Arning <i>et al.</i> (2015)						
Ocklenburg <i>et al.</i> (2016)						
Ocklenburg <i>et al.</i> (2017)						
Cowell <i>et al.</i> (2018)						
Heikkilä <i>et al.</i> (2018)						

Discutiremos as teorias propostas pelas pesquisas selecionadas obedecendo a ordem que dos temas do quadro 1.

Há uma expectativa no real motivo que leva os humanos a preferirem um lado do corpo, pois isso pode ter uma implicação clínica, uma vez que doenças como dislexia e TDAH,

entre outras, são mais comuns em pessoas canhotas (SCHMIDT et al., 2013).

Ocklenburg et al. (2017) afirmam que a medula espinal ainda não está completamente conectada ao encéfalo durante o desenvolvimento embrionário, mesmo assim a maior parte dos fetos estudados apresenta maior mobilidade com os membros direitos como levar a mão à boca. Se a medula espinal é a responsável por promover o movimento dos membros dos fetos, então, seria isso um reflexo e não um movimento voluntário. De acordo com Piaget (2003) os bebês nascem com reflexos como o de sugar e o de preensão palmar e após algumas semanas adquire movimentos voluntários. Assim, a medula espinal parece não influenciar a preferência motora e se realmente for como defendem os autores, os mecanismos pelo qual a medula espinal desconectada do encéfalo consegue influenciar o cérebro deve ser explicado com mais detalhes. Além de Ocklenburg et al. (2017), Melsbach et al. (1996) também apontam para a medula espinal como a responsável pela lateralidade humana.

Cowell et al. (2018) mencionam o corpo caloso como a possível causa da lateralidade. O corpo caloso é a maior comissura e o grande responsável pela comunicação entre os hemisférios cerebrais. Embora seja um fato que o corpo caloso em canhotos é um pouco mais denso que em destros, não acreditamos que o corpo caloso seja o fator que determina a lateralidade. Witelson, Nowakowsk (1991), Welcome, et al. (2009) e Luders et al. (2010) também apontam para o corpo caloso como o responsável pela lateralidade. Sabe-se que o corpo caloso é mais desenvolvido no sexo feminino e a incidência de canhotos no sexo feminino é a metade se comparado com o sexo masculino. Se o corpo caloso fosse o fator determinante, a proporção de mulheres canhotas em todo o mundo deveria ser maior e na verdade o percentual de mulheres canhotas representa a metade quando comparado com homens (McKEEVER, 2000).

Outros 5 artigos apontam para fatores hormonais como responsável por determinar a lateralidade. A ideia dos hormônios refere-se ao fato de que a testosterona é mais abundante no sexo masculino e o sexo masculino possui a maior parte dos canhotos (GRINSHAW et al., 1995; MELSBACK et al., 1996; SMITH e HINES, 2000; LUST et al., 2011; HAMPSON e SANKAR, 2012). A influência hormonal é evidente em alguns comportamentos e até na formação do corpo como no tamanho dos dedos indicador e anelar (VORACEK e LOIBL, 2008). Contudo, é de conhecimento que outros mamíferos também possuem hormônio testosterona em excesso e nem por isso,

caninos, felinos, ruminantes e outros mamíferos possuem essa preferência (NORMAN e LITWACK, 1997). Nem mesmo os primatas que são parentes próximos dos humanos na escala evolutiva possuem essa característica. Assim, é rasa a hipótese da influência hormonal na lateralidade.

Outros 7 artigos apontam para fatores ambientais como os responsáveis pela preferência motora dos humanos. Realmente, a influência do meio em que vivemos pode sim influenciar a lateralidade (LALAND et al., 1995; PROVINS, 1997; NAGY, 2005; ZVEREV, 2006; VUOKSIMAA et al., 2009; MEDLAND et al., 2009; SOUZA e TEIXEIRA, 2011). As pesquisas citadas anteriormente afirmam que o ambiente exerce forte influência sobre a lateralidade. Membros da família podem forçar a criança a manusear talheres com a mão direita, aliás, isso aconteceu muito no passado e ainda existem pais que fazem isso. No passado, crianças eram forçadas a desenvolver habilidades com a mão direita, pois ser canhoto era considerado algo ruim. Mesmo a questão ambiental sendo uma resposta plausível para explicar a lateralidade em humanos, temos outra questão: por que apenas os humanos possuem preferência motora por um dos lados? Sem essa resposta, não dá para afirmar que apenas a pressão social pode explicar a lateralidade dos humanos.

A maior parte dos artigos que compõem nossa pesquisa aponta para fatores genéticos como a resposta para a lateralidade (GESCHWIND e GALABURDA, 1985; BRYDEN, 1990; DAVIS e ANNETT, 1994; ANNETT, 1994; LALAND et al., 1995; HEPPEL et al., 1998; MCKEEVER, 2000; SOMMER et al., 2002; FRANKS et al., 2007; MEDLAND et al., 2009; SOUZA e TEIXEIRA, 2011; HAMPSON e SANKAR, 2012; ARNIG et al., 2015; OCKLENBURG et al., 2016). Os autores citados anteriormente apontam para fatores genéticos como responsáveis pela lateralidade humana. Essa teoria é a mais aceita na comunidade científica, uma vez que encontramos com frequências, alguns canhotos na mesma família. Se analisarmos uma família famosa, a família real inglesa, encontramos muitos canhotos. A rainha Elizabeth é canhota, o príncipe Charles é canhoto. Acredita-se que o pai da rainha Elizabeth, Albert Frederick Arthur George, além de canhoto era também gago. Gagueira é um distúrbio muito comum entre os canhotos. Por todos os dados citados, a genética seria a prova cabal para explicar por que algumas pessoas são destros e outras canhotas. Mas o mistério ainda persiste, pois irmãos gêmeos univitêlicos nem sempre partilham a mesma lateralidade, mesmo sendo criados no mesmo ambiente. Assim, essa variável não explica

totalmente duas teorias: a do fator ambiental e a do fator genética. Por enquanto, é uma pergunta ainda sem resposta.

Sobre a relação entre o baixo peso ao nascer da pesquisa de Heikkilä et al. (2018), os autores afirmam que em várias situações, crianças com baixo peso tendem a ser canhotas. Segundo os autores, em situações de gestação trigemelar, o bebê de menor peso também será mais disposto ao canhotismo. O artigo mencionado apresenta os dados, mas os autores não especularam os mecanismos que levam o cérebro escolher por um lado do corpo. Como não há uma conclusão para esse fenômeno, só podemos dizer que são mais dados para enriquecer o acervo científico sobre a lateralidade humana, e analisando de longe, mais parece uma coincidência do que uma explicação para a lateralidade.

5 Referências

AARNING, L.; OOKLENBURG, S.; SCHULZ, S.; NESS, V.; GERDING, W.; HENGSTLER, J.; FALKENSTEIN, M.; EPPLER, J.; GÜNTÜRKÜN, O.; BESTE, C. Handedness and the X chromosome: the role of androgen receptor CAG-repeat length. **Scientific Reports**, v. 5, p. 83-25, 2015.

ANNETT, M. Handedness as a continuous variable with dextral shift: sex, generation and family handedness in subgroups of left and right handers. **Behav Genet**, v. 24, p. 51-63, 1994.

BRYDEN, P. Choosing sides: The left and right of the normal brain. **Canadian Psychology**, v. 31, p. 297-309, 1990.

CHAPELAIN, A.; BEC, P.; BLOIS-HEULIN, C. Manual laterality in Campbell's Monkeys (*Cercopithecus, c. campbelli*) in spontaneous and experimental actions. **Behavioural Brain Research**, v. 173, p. 237-245, 2006.

COSTA, P. L. F. **Ser diferente: dificuldades e superação de pessoas canhotas em diferentes gerações**. Tese (Mestrado em Educação: Psicologia da Educação). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo PUC-SP, 2014.

COWELL, P.; GURD, J. Handedness and the Corpus Callosum: A Review and Further Analyses of Discordant Twins. **Neuroscience**, v. 388, p. 57-68, 2018.

4 Conclusão

Encontramos 6 explicações para a lateralidade nos humanos. Algumas bem discutidas como a influência hormonal e a genética e outras menos conhecidas como a influência da medula espinal e complicações no parto. O corpo caloso e o ambiente também podem influenciar a dominância motora. Não há explicação concreta para a lateralidade nos humanos, assim concluímos que a dominância cerebral pode ser influenciada por fatores intrínsecos e extrínsecos de acordo com as explicações aqui apresentadas, mas novas pesquisas devem ser feitas até que se tenha uma resposta conclusiva sobre a lateralidade dos seres humanos.

DARWIN, C. **On the origin of species by means of natural selection or the preservation of favored races in the struggle for life**. 6a ed. Nova York: Appleton, 1875.

DAVIS, A.; ANNETT, M. Handedness as a function of twinning, age and sex. **Cortex**, v. 30, p. 105-111, 1994.

FRANKS, C.; MAEGAWA, S.; MONACO, A. P. LRRMT1 on chromosome 2p12 is a maternally suppressed gene that is associated paternally with handedness and schizophrenia. **Mol Psychiatry**, v. 12, n. 12, p. 1129-1057, 2007.

GESCHWIND, N.; GALABURDA, A. Cerebral lateralization: biological mechanisms, associations and pathology, I-III. **Arch Neurol**, v. 42, p. 428-458, 1985.

GRIMSHAW, G. M.; BRYDEN, M. P.; FINEGAN, J. K. Relations between prenatal testosterone and cerebral lateralization at age 10. **J. Clin Exp. Neuropsychol**, v. 15, p. 39-40, 1995.

HAMPSON, E.; SANKAR, J. Hand preference in humans is associated with testosterone levels and androgen receptor gene polymorphism. **Neuropsychologia**, v. 50, p. 2018-2025, 2012.

HARCOURT, A. H.; STEWART, K. J.; HAUSER, M. Functions of wild gorilla "close" calls: I. Repertoire context, and

interspecific comparison. **Behaviour**, v. 124, n. 1-2, p. 89-122, 1993.

HEIKKILÄ, K.; VAN BEIJSTERVELDT, C.; HAUKKA, J.; IIVANAINEN, M.; SAARI-KEMPPAINEN, A.; SILVENTONEN, K.; VUOKSIMAA, E. Triplets, birthweight and handedness. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 115, n. 23, p. 6076-6081, 2018.

HEPPER, P.; MCCARTNEY, G.; SHANNON, A. Lateralised behaviour in the first trimester human fetuses. **Neuropsychologia**, v. 36, p. 531-534, 1998.

HERCULANO-HOUZEL, S. **A vantagem humana. Como nosso cérebro se tornou superpoderoso**. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.

KO, K. H. The evolution and origin of human language: a biological perspective. **Working paper**. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/298033478> Acesso em: 21 de jun. 2021.

LALAND, K.; KUMM, J.; VAN HORN, J.; FELDMAN, M. A gene-culture model of human handedness. **Behav Genet**, v. 25, p. 433-445, 1995.

LUDERS, E.; CHERBUIN, N.; THOMPSON, P.; GUTMAN, B.; ANSTEY, K.; SACHDEV, P.; TOGA, A. When more is less: Associations between corpus callosum size and handedness lateralization. **NeuroImage**, v. 52, p. 43-49, 2010.

LUST, J.; GEUZE, R.; VAN DE BEEK, C.; COHEN-KETTENIS, P.; BOUMA, A.; GROOTHUIS, T. Differential effects of prenatal testosterone on lateralization of handedness and language. **Neuropsychology**, v. 25, n. 5, p. 581-9, 2011.

MCKEEVER, W. A new family handedness sample with findings consistent with X-linked transmission. **British Journal of Psychology**, v. 91, p. 21-39, 2000.

McKEEVER, W. F. A new family handedness sample with findings consistent with X-linked transmission. **British Journal of Psychology**, v. 91, p. 21-39, 2000.

MEDLAND, S.; DUFFY, D.; WRIGHT, M.; GEFFEN, G.; HAY, D.; LEVY, F.; VAN-BEIJSTERVELDT, C.; WILLENSEN, G.; TOWNSEND, G.; WHITE, V.; HEWITT, A.; MACKEY, D.; BAILE, M.; SLUTSKE, W.; NYHOLT, D.; TRELOAR, S.; MARTIN, N.; BOOMSMA, D. Genetic influences on handedness: data from 25732 Australian and Dutch twin families. **Neuropsychologia**, v. 47, p. 330-337, 2009.

MELSBACH, G.; WOHLSCHLÄGER, A.; SPIESS, M.; GÜNTÜRKÜN, O. Morphological asymmetries of motoneurons innervating upper extremities: clues to the anatomical foundations of handedness? **International Journal of Neuroscience**, v. 86, p. 217-224, 1996.

NAGY, E.; COMPAGNE, H.; ORVOS, H.; PAL, A.; MOLNAR, P.; JANSZKY, I.; LOVELAND, K.; BARDOS, G. Index finger movement imitation by human neonates: Motivation, learning, and left-hand preference. **Pediatric Research**, v. 58, p. 749-753, 2005.

OCKLENBURG, S.; ARNING, L.; GERING, W.; HENGSTLER, J.; EPPLER, J.; GÜNTÜRKÜN, O.; BESTE, C.; AKKAD, D. Left-Right axis differentiation and functional lateralization: a haplotype in the methyltransferase encoding gene SETDB2 might mediate handedness in healthy adults. **Molecular Neurobiology**, v. 53, p. 6355-6361, 2016.

OCKLENBURG, S.; SCHMITZ, J.; MOINFAR, Z.; MOISER, D.; KLOSE, R.; LOR, S.; KUNZ, G.; TEGENTHOFF, M.; FAUSTMANN, P.; FRANCK, C.; EPPLER, J.; KUMSTA, R.; GÜNTÜRKÜN, O. Epigenetic regulation of lateralized fetal spinal gene expression underlies hemispheric asymmetries. **ELife**, v. 6, p. e22784, 2017.

PIAGET, J. **Seis estudos de psicologia**. 24 ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2003.

PROVINS, K. The specificity of motor skill and manual asymmetry: A review of the evidence and its implications. **Journal of Motor Behavior**, v. 29, p. 183-192, 1997.

SCHMIDT, S. L.; SIMÕES, E. N.; SCHMIDT, G.; CARVALHO, A. L. N. The effects of hand preference on attention. **Psychology**, v. 4, n. 10A, p. 29-33, 2013.

SMITH, L.; HINES, M. Language lateralization and handedness in women prenatally exposed to diethylstilbestrol (DES). **Psychoneuroendocrinology**, v. 25, n. 5, p. 497-512, 2000.

SOMMER, I.; RAMSEY, N.; MANDL, R. W.; KAHN, R. Language lateralization in monozygotic twin pairs concordant and discordant for handedness. **Brain**, v. 125, n. 12, p. 2710-2718, 2002.

SOUZA, R. M.; TEIXEIRA, L. A. Sobre a Relação entre Filogenia e Ontogenia no Desenvolvimento da Lateralidade na Infância. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v. 24, n. 1, p. 62-70, 2011.

UOMINU, N. R. L. Manual laterality and cognition through evolution: An archeological perspective. **Progress in Brain Research**, v. 238, p. 295-323, 2018.

VORACEK, M.; LOIBL, L. M. Scientometric analysis and bibliography of digit ratio (2D:4D) research, 1998-2008. **Psychological Reports**, v. 104, p. 922-956, 2008.

VUOKSIMAA, E.; KOSKENVUO, M.; ROSE, R.; KAPRIO, J. Origins of handedness: a nationwide study of 30,161 adults. **Neuropsychologia**, v. 47, p. 1294-1301, 2009.

WELCOME, S.; CHIARELLO, C.; TOWLER, S.; HALDERMAN, L.; OTTO, R.; LEONARD, C. Behavioral correlates of corpus callosum size: Anatomical/ behavioral relationships vary across sex/handedness groups. **Neuropsychologia**, v. 47, p. 2427-2435, 2009.

WITELSON, S. F.; NOWAKOWSKI, R. Left out axons make men right: A hypothesis for the origin of handedness and functional asymmetry. **Neuropsychologia**, v. 29, p. 327-333, 1991.

ZVEREV, Y. Cultural and environmental pressure against left-hand preference in urban and semi-urban Malawi. **Brain and Cognition**, v. 60, p. 295-303, 2006.