

**Estimulação Magnética Transcraniana: aplicações, segurança e fundamentos**  
**Transcranial Magnetic Stimulation: applications, safety and fundamentals in the**  
**neurosciences**

**Estimulación magnética transcranial: aplicaciones, seguridad y fundamentos en**  
**las neurociencias**

Recebido: 12/02/2022 | Revisado: 13/03/2022 | Aceito: 28/07/2022 | Publicado: 28/07/2022

**Alice Teixeira Pedrosa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1037-5493>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: [d2021012689@unifei.edu.br](mailto:d2021012689@unifei.edu.br)

**Guilherme Gomes Chagas**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9777-9078>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: [d2021009001@unifei.edu.br](mailto:d2021009001@unifei.edu.br)

**Lucas Gabriel Alvarenga Costa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1597-0109>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: [d2021011000@unifei.edu.br](mailto:d2021011000@unifei.edu.br)

**Ricardo Luiz Perez Teixeira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2641-4036>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: [ricardo.luiz@unifei.edu.br](mailto:ricardo.luiz@unifei.edu.br)

**Priscilla Chantal Duarte Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5148-2423>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: [priscillachantal@unifei.edu.br](mailto:priscillachantal@unifei.edu.br)

### **Resumo**

A Estimulação Magnética Transcraniana é um método de tratamento não invasivo para tratamento de patologias neurológicas, excitando ou inibindo a atividade do neurônio. Esse método foi introduzido por Barker em 1985 e tem recebido cada vez mais espaço na ação para o tratamento de patologias neurológicas. Esse artigo de revisão busca apontar os pontos positivos e negativos da técnica, expondo os principais usos, segurança e fundamentos de funcionamento da técnica, com um enfoque especial no equipamento estimulador e a aplicação da engenharia elétrica sobre o processo. Ao final, são apresentadas as possíveis melhorias e avanços que a tecnologia pode trazer para a técnica, com tópicos que ainda estão sendo negligenciados e carecem de pesquisas mais aprofundadas.

**Palavras-chave:** Estimulação Magnética Transcraniana; Tratamento não invasivo; EMT; Neurociências; Tratamento de patologias neurológicas.

### **Abstract**

The Transcranial Magnetic Stimulation is a non-invasive treatment to neurological pathologies, exiting or inhibiting the neuron. This method was introduced by Barker in 1985, and it is conquering more space. This revision article objective is to point out the positive and negative sides of the technique, focusing specially on the stimulator equipment and the role of the Electrical Engineering on the process. In the end, improvements and advances that the technology can bring to the technique are exposed with some topics that have been neglected and need deeper research.

**Keywords:** Neuroscience; Non-invasive treatment; TMS; Transcranial Magnetic Stimulation; Treatment to neurological pathologies.

### **Resumen**

La estimulación magnética transcraneal es un método de tratamiento no invasivo para tratar patologías neurológicas mediante la excitación o inhibición de la actividad neuronal. Este método fue introducido por Barker en 1985 y ha recibido cada vez más espacio en la acción para el tratamiento de patologías neurológicas. Este artículo de revisión pretende señalar los puntos positivos y negativos de la técnica, exponiendo los principales usos, la seguridad y los fundamentos de funcionamiento de la misma, con

especial atención al equipo estimulador y a la aplicación de la ingeniería eléctrica en el proceso. Al final, se presentan las posibles mejoras y avances que la tecnología puede aportar a la técnica, con temas que aún se descuidan y carecen de mayor investigación.

**Palabras clave:** Estimulación magnética transcranial; Tratamiento no invasivo; EMT; Neurociencias; Tratamiento de patologías neurológicas.

## Introdução

A Estimulação Magnética Transcraniana (EMT ou TMS, do inglês *Transcranial Magnetic Stimulation*) é uma técnica não invasiva de estímulo do córtex humano. Conforme exposto por Ilmoniemi, Ruohonen e Karhu (1999), as primeiras pesquisas sobre os efeitos da aplicação de campos magnéticos no sistema nervoso começaram na segunda metade do século XIX, após as descobertas de Faraday sobre as leis do eletromagnetismo em 1831. Mas somente em 1985, uma equipe de pesquisadores da Universidade de Sheffield liderada por Barker conseguiu executar o procedimento de TMS no córtex motor humano.

Barker, Jalinous e Freeston (1985) descrevem que resultados interessantes estavam sendo obtidos para o tratamento de Parkinson, esclerose múltipla e incontinência fecal. A partir disso, a técnica vem sendo cada vez mais pesquisada, tornando-se mais relevante, com diversos estudos e artigos publicados nas áreas em que essa técnica tem sido utilizada. A TMS é capaz de estimular ou inibir os estímulos. A depender da forma como o procedimento é realizado, ela possui usos em tratamentos de diversas patologias.

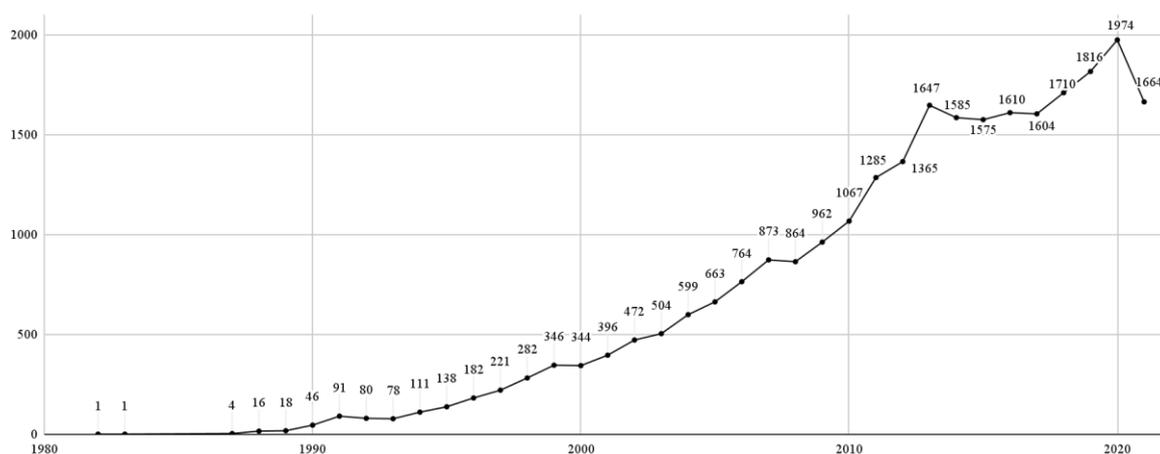
A fim de clarificar os possíveis usos da EMT e suas variações no campo da clínica como forma de tratamento, procedemos à revisão da literatura selecionando os artigos nas áreas em que a técnica de EMT já tem sido largamente utilizada, a saber: AVC, dor, doença de Parkinson e depressão. Essas doenças possuem elevada morbidade, possuindo grandes implicações na qualidade de vida devido ao elevado grau de incapacidade associado e ao fato de ainda carecerem de métodos terapêuticos totalmente eficientes. (ARAÚJO *et al.*, 2011).

O método faz uso de bobinas para a geração de um campo magnético que penetra a estrutura craniana e gera um campo elétrico, possuindo diversos modos de aplicação que variam em metodologia, objetivo, frequência e quantidade de pulsos, forma da bobina do equipamento, dentre outros. Atualmente, a TMS tem ganhado destaque tendo em vista

a segurança e eficiência no tratamento de diversas patologias neuropsiquiátricas. Por essa razão, há um crescente número de estudos a respeito do tratamento de algumas doenças. Em especial a EMT repetitiva, ou rTMS em inglês é a técnica que possui maiores impactos e controvérsias, tendo seus efeitos ainda em discussão e análise.

Mesmo se tratando de um tópico médico recente, uma busca na base de dados Scopus por “transcranial magnetic stimulation”, utilizando-se as ferramentas de análise de busca, foi possível observar uma tendência de aumento no número de publicações sobre o assunto, conforme demonstrado no Figura 1, contendo 26958 documentos publicados na data de acesso (15 de outubro de 2021), sendo a grande maioria na área da Medicina (37,1%), seguido de Neurociência (33,6%).

Figura 1: Quantidade de publicações por ano



Fonte: Elaborado pelo autor com dados do SCOPUS (2021).

No que tange ao contexto Brasil, a tendência é equivalente a internacional, haja vista que segundo uma pesquisa publicada por Junior, Fernandes e Fernandes (2018), o primeiro grupo de estudo sobre o TMS surgiu em 2002 e em 2017 já havia um total de 12 grupos, compostos por 100 Doutores, 22 Mestres, 5 Especialistas e 27 Graduandos, mostrando um aumento relevante de procura sobre a área.

Essa revisão busca demonstrar as vantagens e desvantagens da TMS, abordando o seu princípio de funcionamento de forma sucinta e apresentando a sua segurança e aplicações, com um enfoque no equipamento estimulador.

## Fundamentos biológicos e físicos

Segundo Matsuda *et al.* (2019), o equipamento de TMS cria um campo magnético no córtex cerebral do paciente, modificando a atividade regional e a conectividade ao longo das vias nervosas. Este equipamento é composto por uma bobina, podendo ter formatos distintos, ligado a um circuito elétrico composto por resistores e capacitores.

De início, os capacitores antes carregados serão descarregados, passando uma corrente elétrica através da bobina. Segundo a Lei de Ampère-Maxwell, apresentada na Equação 1, uma corrente estimula um campo magnético que possui uma variação rápida com relação ao tempo (MATSUDA *et al.*, 2019).

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (1)$$

De acordo com Araújo *et al.* (1999, p. 25) “nas células nervosas, a corrente elétrica responsável pela propagação de um pulso elétrico ao longo do corpo celular é gerada por variações na permeabilidade da membrana”. Como a permeabilidade de tecidos humanos possui um valor baixo, o campo magnético penetra no córtex cerebral sem receber uma interferência significativa. Neste momento, é induzido um campo elétrico conforme descrito pela lei de Faraday na Equação 2, fazendo as partículas carregadas no tecido cerebral serem submetidas a um fluxo de densidade de corrente (Equação 3) (MATSUDA *et al.*, 2019).

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (3)$$

Müller *et al.* (2013) descrevem que a intensidade do estímulo e o posicionamento da bobina podem provocar o desencadeamento de potencial de ação da membrana como também gerar uma despolarização neuronal e, por consequência, potenciais excitatórios neuronais pós-sinápticos com duração de aproximadamente 1 ms, seguidos por inibitórios

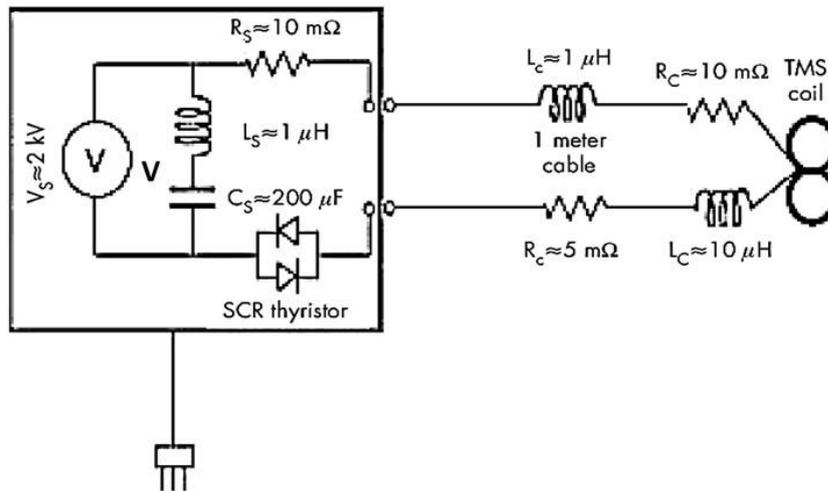
pós-sinápticos, cuja duração se aproxima de 100 ms. Isso acaba gerando períodos de refração da atividade cerebral, impedindo o ritmo oscilatório e o padrão de distribuição da rede neural. Ainda segundo o autor, este efeito já foi comprovado por estudos de neuroimagem em humanos com tomografias por ressonância magnética, em que foram encontradas mudanças na atividade cerebral na área abaixo da bobina, evidenciando os efeitos da TMS no controle da atividade neurológica dos indivíduos.

O Potencial pós-sináptico excitatório está relacionado com a despolarização neuronal que é entrada de cátions, possibilitando o aumento da atividade cerebral, enquanto o potencial pós-sináptico inibitório nada mais é que o desencadeamento de potencial provocando uma hiperpolarização, ou seja, afasta o potencial de membrana do valor nulo, assim possibilitando a entrada de ânions e saída de cátions, desta forma reduzindo a atividade cerebral. A presença da bobina provoca uma despolarização neuronal que é a mudança de íons negativos para positivos ao longo da membrana, o que permite a condução do impulso nervoso. Após a passagem pela sinapse ocorre um período de refração da atividade cerebral, o que provoca um desequilíbrio no ritmo de condução dos impulsos nervosos, que não são conduzidos de forma igual em todas as áreas do cérebro e nem com a mesma velocidade.

### **O circuito estimulador**

A TMS necessita dispor um pulso elétrico para que haja uma geração do campo magnético, sendo esse o papel do circuito estimulador. Roth, Padberg e Zangen (2007) mostram que o circuito básico é composto por um banco de capacitores que são carregados por uma fonte de alta tensão e descarregados através de uma bobina (Figura 2), induzindo o aparecimento de um campo magnético. Para realizar essa descarga, uma chave é colocada no circuito, usualmente utiliza-se um *Thyristor* devido a grande quantidade de energia envolvida no procedimento e os picos de descarga que ocorrem.

Figura 2: Circuito típico de TMS



Fonte: George et al. (2006)

Os valores dos componentes variam de acordo com o processo de aplicação e a necessidade de penetração no cérebro, mas usualmente temos valores de corrente entre 2 *kA* e 10 *kA* com 0,5 *kV* a 3 *kV* de tensão, com valores típicos de 5 *kA* e 1,5 *kV*, fluindo em intervalos de 50  $\mu s$  a 250  $\mu s$ , com um ciclo (tempo para descarga e carga) a depender dos valores da capacitância (usualmente entre 10  $\mu F$  e 250  $\mu F$ ) e da indutância (10  $\mu H$  e 30  $\mu H$ ) do circuito que se comporta com um circuito RLC durante um período de descarga com o período do pulso dado pela equação típica abaixo:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (4)$$

Há também uma influência da bobina no estímulo gerado. Pela Lei de Ampère, tem-se que o campo magnético resultante depende da geometria da bobina (ou do conjunto de bobinas), e de fatores como forma, diâmetro, material condutor, material do núcleo e número de voltas influenciam na indutância da bobina e alteram o formato do campo magnético e modificando tanto a área de aplicação, quanto a profundidade de ação. (Deng; Lisanby; Peterchev, 2013) traçam um comparativo entre 50 modelos de bobinas e demonstram que bobinas circulares geram um campo magnético circular e afetam uma área maior, enquanto bobinas de duas espiras (formato em 8) gera um campo magnético concentrado no centro dessas espiras, atingindo uma região menor do cérebro. Houve

também a introdução das chamadas bobinas H, que penetram ainda mais no cérebro em relação às bobinas 8.

Além disso, foi demonstrado que há uma relação inversa entre a área de influência e a penetrabilidade. Considerando a medida de meia penetração - definida como sendo a distância a partir do crânio em que o campo elétrico atinge metade do seu valor máximo na superfície - as bobinas circulares possuem uma penetração de  $1,0\text{ cm}$  a  $3,5\text{ cm}$ , com uma área de  $34\text{ cm}^2$  a  $273\text{ cm}^2$ ; enquanto as bobinas em 8 possuem uma penetração entre  $0,9\text{ cm}$  e  $3,4\text{ cm}$  com área entre  $5\text{ cm}^2$  e  $261\text{ cm}^2$ . Mas há um limite para quanto cada fator pode ser melhorado. Autores citam que a capacidade de foco de cada bobina pode ser aumentada reduzindo-se o raio. Desse modo, percebe-se que há uma limitação nesse fato, já que a área de estimulação no cérebro não pode ser reduzida a zero, devendo-se buscar um equilíbrio entre o foco e a penetração de cada modelo de bobina, a depender da aplicação.

## **Metodologia**

Para o desenvolvimento metodológico deste estudo, utiliza-se a revisão narrativa de cunho qualitativo que tem como princípio discutir o estado da arte do assunto abordado. Parte-se de publicações amplas sobre o tema de estudo. Constituem-se fontes publicadas em livros, artigos de revista impressas e/ou eletrônicas para auxiliarem na interpretação e análise crítica. A revisão narrativa constitui-se uma análise sem critérios quantitativos rígidos (VOSGERAU e ROMANOWSK, 2014). Porém, busca uma evidência do conhecimento da área, abrange várias ideias, métodos e subtemas que têm recebido maior ou menor ênfase na literatura selecionada para estudo (ELIAS *et al.*, 2012).

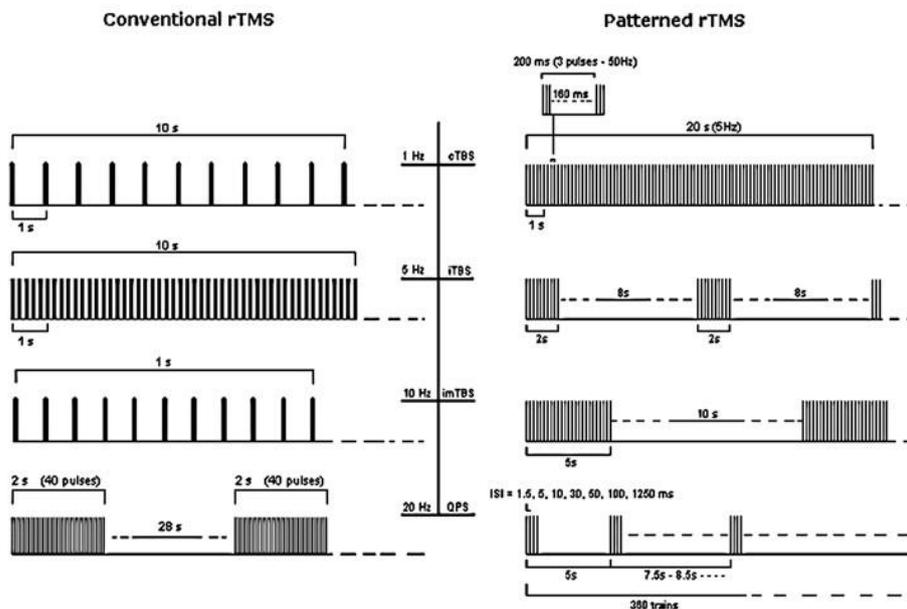
## **Aplicabilidade clínica**

De acordo com o tipo de tratamento e de efeito buscado, a TMS pode ser aplicada de três formas diferentes e o circuito deve acompanhar essa necessidade. ROSA *et al.* (2004) e Rossi *et al.* (2009) descrevem que a TMS simples aplica somente um pulso, sendo usada para estudos de estímulos e mapeamento do sistema nervoso central. Em se

tratando de pulsos aplicados em sequências, tem-se a TMS em pulsos pareados (pulsos bifásicos), onde dois pulsos são aplicados, utilizando uma bobina apenas (estimulando uma área) ou duas para estimular duas regiões diferentes do cérebro, permitindo um estudo das interações das partes do cérebro.

Finalmente, quando são aplicados vários pulsos, chama-se de rTMS ou de TMS repetitiva, como mostra a Figura 3. Nesta técnica, há uma aplicação de vários pulsos em determinadas frequências e padrões, permitindo diferentes resultados ao se alterar esses parâmetros. Vale destacar que ocorre ainda uma subdivisão entre os modos de aplicação da rTMS. Pode-se dizer que existem os protocolos convencionais e os com padrões, sendo o último uma aplicação repetida alternada com períodos sem aplicação. A TMS de repetição é mais relevante na psiquiatria, em que os pulsos são dosados com frequências variáveis em cargas situadas abaixo do limite de estimulação capaz de induzir uma convulsão. Por ser um procedimento indolor, o paciente é mantido acordado durante as sessões que podem durar até 30 minutos.

Figura 3: Diferentes protocolos de aplicação da rTMS



Fonte: Rossi (2009)

A rTMS mostrou ser potencialmente atrativa para tratar os distúrbios psiquiátricos e possível afirmar que:

Os estudos de neuroimagem têm mostrado que as patologias psiquiátricas cursam com alterações focais da função cerebral, como, por exemplo, a depressão pode resultar em uma hipoatividade frontal e a esquizofrenia em uma hiperatividade da região temporal (FREGNI; MARCONI, 2004, p. 228).

Portanto, devido a sua capacidade de modular o funcionamento neurológico estimulando ou inibindo a sua atividade, doenças que são caracterizadas por um déficit desse tipo podem se beneficiar do tratamento via TMS. A seguir, serão discutidos os estudos em cada caso clínico.

## **Depressão**

De acordo com Matsuda *et al.* (2019), na depressão os dois hemisférios do cérebro estão em desequilíbrio metabólico, de modo que o lado direito fica mais ativo, enquanto o esquerdo fica inibido. No caso da depressão, a rTMS age de maneira excitatória reativando essas regiões de pouca atividade com os pulsos de campo magnético sendo capazes de induzir mudanças duráveis na atividade cerebral (BLUMBERGER *et al.*, 2018).

Tal efeito é possível, pois a aplicação da TMS é capaz de promover a modulação de importantes neurotransmissores envolvidos na manutenção dos estados de humor e do bem-estar, por isso o procedimento também é chamado de Neuromodulação (NOGUEIRA *et al.*, 2020). Dessa maneira, a TMS é uma nova opção para aqueles pacientes intolerantes ao princípio ativo ou que não suportam os efeitos colaterais dos medicamentos antidepressivos ou ainda pacientes refratários, assim como já afirmavam Rosa, Marcolin e Pridmore (2002).

Quanto às sessões de TMS, elas geralmente duram em torno de 37,5 minutos e com uma frequência de 10 Hz. Os resultados e a quantidade de sessões variam dependendo da resposta do indivíduo ao tratamento, uma vez que os pacientes com depressão não apresentam um padrão uniforme de reação (BLUMBERGER *et al.*, 2018). Além da resposta, se a estimulação é combinada a fármacos, é necessário adequar a frequência, o número de sessões e a intensidade dos pulsos, conforme explica Matsuda *et al.* (2019).

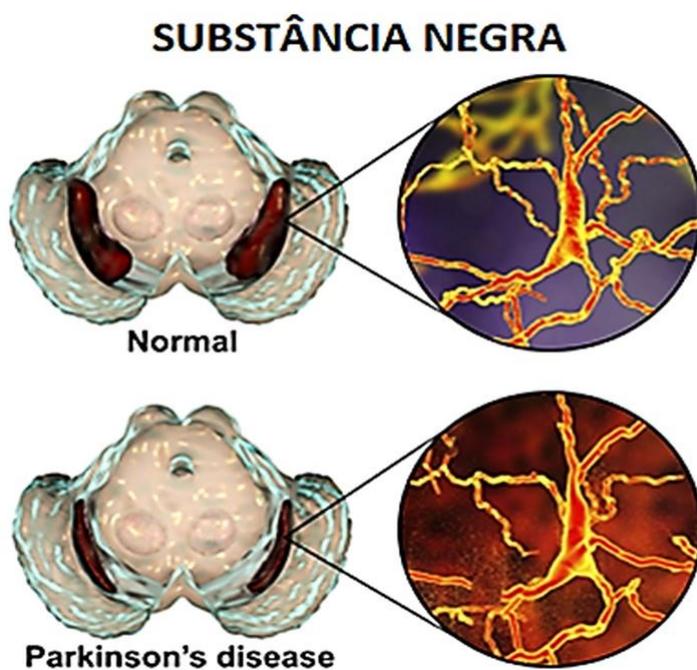
Desse modo, é possível dizer que a TMS é um recurso inovador e promissor na área da saúde, mostrando um grande desempenho e podendo ser utilizada no tratamento

de disfunções, sendo ou não de origem nervosa. Além disso, seu uso pode ser realizado em paralelo com a farmacoterapia e psicoterapia, uma vez que é considerada mais eficaz do que estratégias individuais isoladas (NOGUEIRA *et al.*, 2020; KAR, 2019).

### Doença de Parkinson

A doença de Parkinson é a segunda doença degenerativa mais prevalente no mundo, que se desenvolve quando os neurônios da substância negra (Figura 4), produtores de dopamina, começam a morrer. A dopamina é um neurotransmissor, ou seja, é uma substância química que ajuda na transmissão de mensagens entre as células nervosas. Ela ajuda na realização dos movimentos voluntários do corpo de forma automática e, na sua falta, o controle motor do indivíduo é perdido, consequentemente afetando a qualidade desse (MATSUDA *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2019).

Figura 4: Substância negra em núcleos normais (superior); Doença de Parkinson (inferior).



Fonte: Cria Saúde<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://www.criasaude.com.br/N4007/doencas/doenca-de-parkinson.html>>. Acesso em 08 dez. 2021.

A respeito do tratamento utilizado atualmente, podemos afirmar:

O tratamento da doença se dá por meios farmacológicos (terapia com levodopa, principalmente) e cirúrgicos, através da Estimulação Cerebral Profunda. Há décadas o exercício e a Fisioterapia Neurofuncional vem sendo consideradas terapias complementares aos 20 medicamentos, com o objetivo de maximizar a capacidade funcional motora e melhorar a qualidade de vida de indivíduos portadores da Doença de Parkinson. (COSTA *et al.*, 2019, p. 19)

Em contrapartida, esses métodos ainda são limitados e, com isso, a TMS surge como uma possível modalidade terapêutica não invasiva para o tratamento dos distúrbios motores, uma vez que a bobina - a qual é posicionada sobre a região onde se deseja estimular - produz pulsos que estimulam a produção de dopamina. Esses pulsos devem ter frequências entre 0,5 e 15 Hz, pois fornecem melhorias na escala de avaliação da doença, na fala, redução da rigidez e bradicinesia contralateral (MATSUDA *et al.*, 2019; ALMEIDA, 2017).

De acordo com os estudos realizados por Stapenhorst (2018) foi demonstrado que os pacientes portadores da doença de Parkinson que passaram pelo tratamento da TMS apresentaram uma melhora gradual dos sintomas, como melhora do caminhar e no movimento das mãos, porém os resultados podem variar de acordo com cada paciente.

## **Esquizofrenia**

A esquizofrenia é uma doença mental crônica que se manifesta na adolescência ou no início da fase adulta, caracterizada por alucinações, fala ou comportamento desorganizado, além de dificuldade de concentração e falhas de memória. Atualmente, ainda não foi descoberta a causa exata para o surgimento da doença, mas alguns fatores podem desencadeá-la, como fatores genéticos, ambientais e alterações neuroquímicas (WALTHER *et al.*, 2020).

A esquizofrenia é o resultado de uma atividade metabólica excessiva do cérebro (Figura 5) e, por isso, é utilizada a TMS de baixa frequência, a fim de reduzir a atividade nesta área do cérebro e controlar alucinações auditivas. A frequência utilizada deve ser

menor ou igual a 1 Hz para que a TMS atue de maneira inibitória, uma vez que frequências acima dessa marca agem de maneira excitatória (MATSUDA *et al.*, 2019).

Figura 5: Cérebro Saudável (esquerda); Esquizofrênico (direita).



Fonte: VTM Neurodiagnóstico<sup>2</sup>

De acordo com o estudo realizado por Walther *et al.* (2020), observaram-se que pacientes que receberam 10 ou mais sessões de rTMS por dia obtiveram efeitos duradouros na redução da atividade cerebral responsável pelas alucinações.

Acredita-se, portanto, que a TMS teve resultado positivo no tratamento da doença. É importante ressaltar que os resultados podem variar de acordo com a resposta de cada paciente e, por isso, ainda são necessários estudos mais aprofundados sobre esse tratamento.

### **Tinnitus**

O *tinnitus* é caracterizado como uma sensação auditiva frequente caracterizada pela percepção de ruído sem qualquer estímulo acústico externo, afetando principalmente a população adulta. Ele pode ser fraco e não causar incômodos, porém, em alguns casos pode afetar o dia a dia do paciente, prejudicando sua qualidade de vida (DONG *et al.*, 2020).

<sup>2</sup> Disponível em: <[https://vtmneurodiagnostico.com.br/perguntas\\_respostas/esquizofrenia-versus-psychose-qual-a-diferenca](https://vtmneurodiagnostico.com.br/perguntas_respostas/esquizofrenia-versus-psychose-qual-a-diferenca)>. Acesso em 08 dez. 2021.

Assim como na esquizofrenia, ele se dá pela alta atividade metabólica do cérebro, por isso, é necessário tratamento de efeitos inibitórios das células excitadas a fim de reduzir no paciente a percepção do zumbido. Além disso, é importante ressaltar que a frequência de estimulação depende da duração do zumbido para cada indivíduo (MATSUDA *et al.*, 2019; DE RIDDER *et al.*, 2005).

Segundo Liang *et al.* (2020), apesar da TMS ter se mostrado eficaz no tratamento, em alguns casos, e poder melhorar efetivamente o zumbido crônico, de acordo com um estudo realizado por DONG *et al.* (2020), ela não é satisfatória em todos os pacientes com zumbido, uma vez que as evidências relacionadas à eficácia dessa terapia são inconclusivas. Por isso, é mister encontrar estratégias terapêuticas mais eficazes para o zumbido crônico.

### **Segurança**

Em outubro de 2018, na cidade de Siena na Itália, houve uma conferência de consenso promovida pela Federação Internacional de Neuropsicologia Clínica (*International Federation of Clinical Neurophysiology* (IFCN)) para atualizar as diretrizes de segurança sobre a aplicação da TMS em pesquisas e em casos clínicos. Rossi *et al.* (2021) atualizaram algumas diretrizes antes escritas 10 anos antes (Rossi *et al.* 2009), atualizando as primeiras diretrizes de 1998. Sendo assim, este tópico se baseia nesses artigos, destacando os principais efeitos e suas particularidades.

### **Efeitos gerais**

Já é um consenso que existem alguns efeitos colaterais no uso da TMS, mas todos eles são efeitos menores e leves quando ocorrem: dor no local da aplicação, dor de cabeça e um leve desconforto.

### **Convulsão**

Em ambos os artigos, observam-se alguns efeitos adversos da TMS, sendo o efeito adverso agudo grave acidental mais comum deles a convulsão, dado que tal evento é desencadeado por um desequilíbrio entre as atividades excitatórias e inibitórias

neurológicas, justamente o foco do tratamento. Há, no entanto, a necessidade de se destacar que a grande maioria desses eventos ocorreram a fim de determinar quais são os limites seguros de aplicação. Ademais, uma vez se considerada a perspectiva da quantidade de ocorrências e a quantidade de sujeitos e de pacientes que receberam o tratamento desde que as primeiras diretrizes foram determinadas, é possível verificar que o risco de convulsão é muito baixo.

Apesar de não haver contraindicações, um cuidado adicional se faz necessário quando se trata de pacientes que possuem alguns facilitadores de quadros convulsivos, como pessoas com doenças neurológicas degenerativas e danos cerebrais (como epilepsia, Alzheimer, derrame, esclerose múltipla, meningoencefalites, câncer, dentre outros), distúrbios psiquiátricos (em especial a depressão, que se agrava se aliada com demência, derrame recente, tabagismo, alcoolismo, uso de drogas e subpeso). Existe também uma possível, embora incerta, influência de fatores gerais que são associados como possíveis contribuintes para convulsões em pacientes com epilepsia e que podem ser gatilhos facilitadores para a convulsão induzida pela TMS, como privação de sono, estresse, ansiedade, consumo excessivo de álcool e a menstruação, além de fatores médicos como anormalidades metabólicas, uso de drogas estimulantes (cocaína e MDMA) e, também, alguns medicamentos.

Como há uma baixa quantidade de casos, os estudos estatísticos para determinar qual é a taxa real de casos são inconclusivos, porém eles permitem concluir que não há diferença de risco entre as modalidades de TMS. Há, portanto, uma baixa incidência de convulsões, mesmo em pacientes que utilizam drogas que agem no sistema nervoso. Entretanto, é preciso tomar cuidados extras e estar preparado para lidar com um quadro convulsivo em qualquer protocolo experimental.

### **Uso com dispositivos implantados**

Apesar da baixa influência de um campo eletromagnético nos tecidos biológicos, em dispositivos eletrônicos e em implantes metálicos há uma influência maior. Os protocolos são seguros de serem realizados, se a bobina da TMS não for ativada a menos de 10 cm da parte eletrônica dos dispositivos estimuladores, como por exemplo o marca-passo. Pacientes com implantes metálicos também podem passar seguramente pelos

protocolos, sendo mais seguro que em uma ressonância magnética. O aquecimento provocado pelas correntes induzidas é relevante apenas em implantes de metais de alta condutividade, como ouro e prata, e o metais como o titânio tem uma menor taxa de aquecimento. Entretanto, é desejável que sempre que possível, a TMS seja aplicada longe dos eletrodos, especialmente eletrodos com *loops*, devido ao acoplamento magnético que pode ocorrer e gerar altas correntes.

### **Danos auditivos**

Como a bobina sobre uma deformação mecânica muito rápida no momento da descarga, observa-se um transiente sonoro que pode chegar na casa de 140 dB. Portanto, há uma necessidade do uso de protetores auriculares durante a aplicação tanto pelo paciente quanto pelo operador. Para indivíduos que já possuem problemas auditivos, a TMS pode não ser recomendada, pois há um pequeno risco de uma mudança no limiar de audição. Para pacientes com *tinnitus* e alucinações auditivas, há um risco muito baixo de um aumento dos sintomas.

### **Pacientes pediátricos e gestantes**

O uso da TMS em crianças é seguro se usado todo o equipamento de proteção auricular para pacientes acima de 2 anos, pois abaixo dessa faixa etária, não se tem dados suficientes para garantir a segurança. Para grávidas há dados apenas usando a bobina 8, que indicam que o procedimento é seguro, pois há uma ausência de casos de problemas em fetos e recém-nascidos.

### **Considerações finais**

A TMS é uma técnica médica recente, visto que ela surgiu em 1985, anos depois de outras técnicas mais tradicionais, como eletroencefalograma (1924) (STONE; HUGHES, 2013), raios-X (1895) (RÖNTGEN, 1896), e com a introdução dos computadores na medicina, a tomografia computadorizada (1967) (ISCT -

INTERNATIONAL SOCIETY FOR COMPUTED TOMOGRAPHY, 2016), ressonância magnética (1977) (TRETAKOFF, 2006), dentre outros.

Sabe-se que a técnica é baseada em princípios físicos e biológicos primordiais, mas apesar dos estudos sobre a TMS estarem em um crescente constante, eles ainda possuem algumas limitações, uma vez que são necessárias novas pesquisas em torno do tema para obter-se uma amostra maior de pacientes e melhorar estudos estatísticos que irão solucionar algumas questões pendentes sobre o tratamento, como a real contribuição em alguns tratamentos e os efeitos colaterais em pacientes, em especial pacientes com condições especiais, já que muitas pesquisas excluem as comorbidades médicas das populações estudadas e também a população especial como gravidez, assim como mostra o estudo realizado por Kar (2019).

Ademais, o desenvolvimento tecnológico será um grande aliado para agilizar a implementação da TMS. Em especial, o desenvolvimento e teste de novas bobinas de estimulação é algo que deve ser aprimorado a cada dia, visto que ela é essencial para a realização do tratamento e espera-se que num futuro próximo seja possível controlar eletronicamente via *software* a forma, a orientação do pulso magnético e a sua penetração (MATSUDA *et al.*, 2020). Junto a isso, o desenvolvimento de novos materiais e a criação de componentes eletrônicos de potência, a modelagem de sistemas de controle e novas técnicas de mapeamento cerebral como a neuronavegação, são importantes para reduzir custos e aumentar a eficiência médica, energética e térmica da técnica, diminuindo assim alguns riscos como o para audição, juntamente com uma maior precisão na área de estimulação e controle sobre os efeitos colaterais.

Os riscos da TMS são muito baixos e todos os efeitos adversos observados aconteceram em âmbito acadêmico, onde estava-se buscando os limites para a aplicação da técnica. Além disso, todos os efeitos adversos são raros e esperados e os aplicadores são treinados para lidar rapidamente com eles e prevenir sempre que possível. Há também uma grande vantagem na TMS frente ao impacto e efeitos que alguns fármacos têm no corpo de alguns pacientes, sendo uma possível alternativa para lidar com alergias e rejeição do princípio ativo. A TMS é possível também de ser realizada em pacientes com implantes que tornam impossível a execução de ressonância magnética, por ser uma técnica local e poder operar de forma concentrada e muito mais segura.

Assim, pode-se afirmar que os avanços tecnológicos são fundamentais para o amadurecimento da TMS, já que, apesar de muito recente, a técnica se mostrou muito promissora e pode ser usada como alternativa, em conjunto ou como principal tratamento para distúrbios e desequilíbrios neurológicos, com baixos riscos e poucas contraindicações.

## Referências

ALMEIDA, Vasco Paisana Pires. O papel da estimulação magnética transcraniana repetitiva no tratamento do tremor misto. 2017. Tese de Doutorado.

ARAÚJO, D. B. et al. Biomagnetismo: nova interface entre a física e a biologia. **Ciência Hoje**, p. 24-29, 1999.

ARAÚJO, H. A.; IGLESIO, R. F.; CORREIA, G. S. de C.; FERNANDES, D. T. R. M.; GALHARDONI, R.; TEIXEIRA, M. J.; ANDRADE, D. C. de. Estimulação magnética transcraniana e aplicabilidade clínica: perspectivas na conduta terapêutica neuropsiquiátrica. **Revista de Medicina**, [S.l.], v.90, n. 1, p. 3-14, 2011.

BARKER, Anthony T.; JALINOUS, Reza; FREESTON, Ian L. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. **The Lancet**, v. 325, n. 8437, p. 1106-1107, 1985.

BLUMBERGER, Daniel M. et al. Effectiveness of theta burst versus high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation in patients with depression (THREE-D): a randomised non-inferiority trial. **The Lancet**, v. 391, n. 10131, p. 1683-1692, 2018.

COSTA, Maíra Lopes da et al. Análise do efeito da terapia combinada com estimulação magnética transcraniana repetitiva (EMtr) e gameterapia sobre a capacidade funcional motora e cognitiva de indivíduos portadores de DP. 2019.

DE RIDDER, Dirk et al. Transcranial magnetic stimulation for tinnitus: influence of tinnitus duration on stimulation parameter choice and maximal tinnitus suppression. **Otology & Neurotology**, v. 26, n. 4, p. 616-619, 2005.

DENG, Zhi-De; LISANBY, Sarah H.; PETERCHEV, Angel V. Electric field depth–focality tradeoff in transcranial magnetic stimulation: simulation comparison of 50 coil designs. **Brain stimulation**, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2013.

DONG, Changhong et al. Low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation for the treatment of chronic tinnitus: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **BioMed research international**, v. 2020, 2020.

ELIAS, C. S. R. et al. Quando chega o fim? Uma revisão narrativa sobre terminalidade do período escolar para alunos deficientes mentais. **SMAD: Revista Electrónica em Salud Mental, Alcohol y Drogas**, (8)1, 2012, p.48-53.

FREGNI, Felipe; MARCOLIN, Marco Antonio. O retorno da estimulação cerebral na terapêutica dos transtornos neuropsiquiátricos: o papel da estimulação magnética transcraniana na prática clínica. **Archives of Clinical Psychiatry (São Paulo)**, v. 31, p. 221-230, 2004.

GEORGE, Mark et al. **Overview of Transcranial Magnetic Stimulation: History, Mechanisms, Physics, and Safety**. 2006. Disponível em: Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/4-A-typical-transcranial-magnetic-stimulation-TMS-circuit-diagram\\_fig3\\_304134458](https://www.researchgate.net/figure/4-A-typical-transcranial-magnetic-stimulation-TMS-circuit-diagram_fig3_304134458)>. Acesso em: 08 dez. 2021

ILMONIEMI, R. J.; RUOHONEN, J.; KARHU, Jari. Transcranial magnetic stimulation—A new tool for functional imaging. **Crit. Rev. Biomed. Eng**, v. 27, p. 241-284, 1999.

ISCT - INTERNATIONAL SOCIETY FOR COMPUTED TOMOGRAPHY. Half A Century In CT: How Computed Tomography Has Evolved. [S. l.], 7 out. 2016. Disponível

em: <https://www.isct.org/computed-tomography-blog/2017/2/10/half-a-century-in-ct-how-computed-tomography-has-evolved>. Acesso em: 6 dez. 2021.

JIANG, Yi et al. Effects of high-frequency transcranial magnetic stimulation for cognitive deficit in schizophrenia: a meta-analysis. **Frontiers in psychiatry**, v. 10, p. 135, 2019.

JUNIOR, Hercílio Barbosa Silva; FERNANDES, Marcos Rassi; FERNANDES, Maria Alves. ESTIMULAÇÃO MAGNÉTICA TRANSCRANIANA: UMA ANÁLISE DOS GRUPOS DE PESQUISA NO BRASIL. **Difusão do Conhecimento Através das Diferentes Áreas da Medicina**, v. 4, p. 89-88, 2019.

KAR, Sujita Kumar. Predictors of response to repetitive transcranial magnetic stimulation in depression: a review of recent updates. **Clinical Psychopharmacology and Neuroscience**, v. 17, n. 1, p. 25, 2019.

LIANG, Zhengrong et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation on chronic tinnitus: a systematic review and meta-analysis. **BMC psychiatry**, v. 20, n. 1, p. 1-13, 2020.

MATSUDA, Renan H. et al. Estimulação magnética transcraniana: uma breve revisão dos princípios e aplicações. **Revista Brasileira De Física Médica**, v. 13, n. 1, p. 49-56, 2019.

MÜLLER, Vanessa Teixeira et al. O que é estimulação magnética transcraniana. **Rev Bras Neurol**, v. 49, n. 1, p. 20-31, 2013.

NOGUEIRA, Larissa Lima et al. ESTIMULAÇÃO MAGNÉTICA TRANSCRANIANA: UM RECURSO INOVADOR NA ÁREA DA SAÚDE, 2020

RÖNTGEN, Wilhelm Conrad. On a new kind of rays. **Science**, v. 3, n. 59, p. 227-231, 1896.

ROSA, M. A. et al. **Estimulação Magnética Transcraniana: revisão dos casos de convulsões acidentais.** Rev Bras Psiquiatr v. 26, n. 2, p. 131-4, 2004.

ROSA, Moacyr Alexandro; MARCOLIN, Marco Antônio; PRIDMORE, Saxby. Estimulação magnética transcraniana na depressão. **Rev Psiq Clín**, v. 29, n. 2, p. 90-8, 2002.

ROSSI, Simone et al. Safety and recommendations for TMS use in healthy subjects and patient populations, with updates on training, ethical and regulatory issues: expert guidelines. **Clinical Neurophysiology**, v. 132, n. 1, p. 269-306, 2021.

ROSSI, Simone et al. Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research. **Clinical neurophysiology**, v. 120, n. 12, p. 2008-2039, 2009.

ROTH, Yiftach; PADBERG, Frank; ZANGEN, Abraham. Transcranial magnetic stimulation of deep brain regions: principles and methods. In: **Transcranial brain stimulation for treatment of psychiatric disorders.** Karger Publishers, 2007. p. 204-224.

STAPENHORST, Martina Caroline. Avaliação do efeito neuroprotetor da estimulação magnética estática em modelo in vitro da Doença de Parkinson. 2018

STONE, James L.; HUGHES, John R. Early history of electroencephalography and establishment of the American Clinical Neurophysiology Society. **Journal of Clinical Neurophysiology**, v. 30, n. 1, p. 28-44, 2013.

TRETKOFF, Ernie. This Month in Physics History: July 1977: MRI Uses Fundamental Physics for Clinical Diagnosis. **APS News**, [s. l.], v. 15, n. 7, Jul 2006. Disponível em: <https://www.aps.org/publications/apsnews/200607/history.cfm>. Acesso em: 9 dez. 2021.

VOSGERAU, D. S. A. R.; ROMANOWSKI, J. P. Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas. **Revista de Diálogo Educacional**, (14)41, 2014, p.165-189.

WALTHER, Sebastian et al. Single session transcranial magnetic stimulation ameliorates hand gesture deficits in schizophrenia. **Schizophrenia bulletin**, v. 46, n. 2, p. 286-293, 2020.

### **Processo de revisão por pares**

O presente Artigo foi revisado por meio da avaliação aberta em 1 rodada. A rodada contou com a revisão de Gustavo Morais e Renata Souza Poubel de Paula. O processo de revisão foi mediado por Max Leandro de Araújo Brito.