

O ELETROENCEFALOGRAMA

Prof Vitor Tumas

Prof Regina Maria França Fernandes

2021

A história da eletroencefalografia começa na década de 1920, quando Hans Berger, um neuropsiquiatra alemão, registrou pela primeira vez a atividade elétrica cerebral de seres humanos. Utilizando equipamentos muito primitivos, mas capazes de registrar correntes elétricas e suas variações, Berger foi capaz de descrever vários aspectos básicos do eletroencefalograma (EEG) humano, como o ritmo alfa, por exemplo. Embora naquela época já fosse reconhecida a participação do fenômeno elétrico na fisiologia do tecido cerebral, pouco se sabia sobre a exata origem das ondas registradas por Berger.

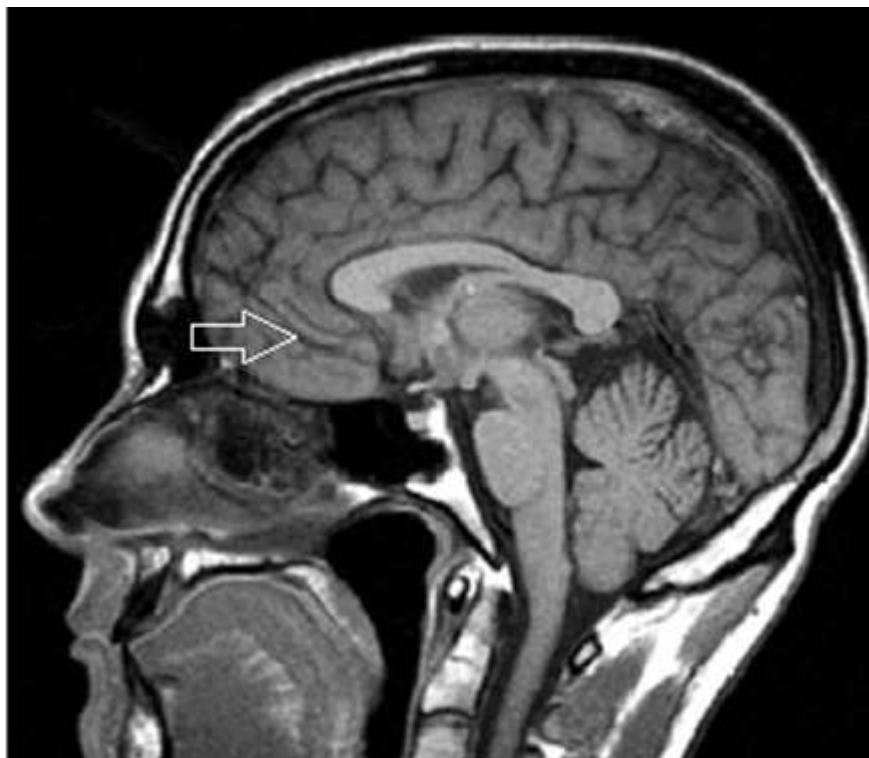
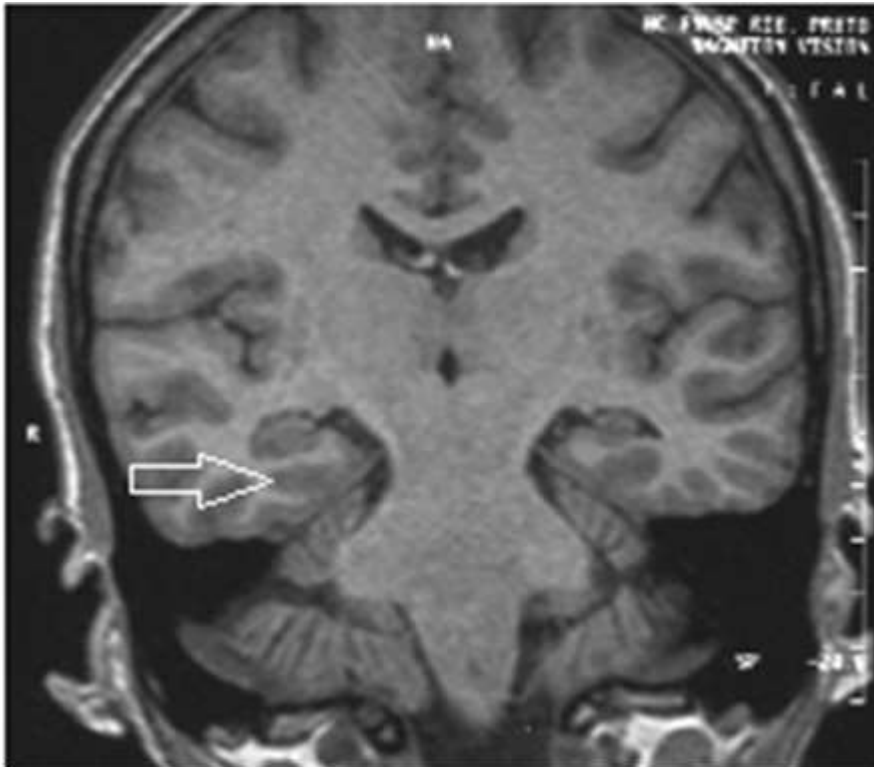
Em sua opinião, qual seria a provável origem das ondas elétricas registradas pelo EEG captado por eletrodos posicionados sobre o escalpe? Seria o registro da:

- 1) Atividade simultânea das células nervosas do córtex cerebral
- 2) Atividade simultânea das células nervosas subcorticais (tálamo)
- 3) Atividade simultânea da Substância Reticular Ativadora Ascendente
- 4) Atividade individual dos neurônios corticais

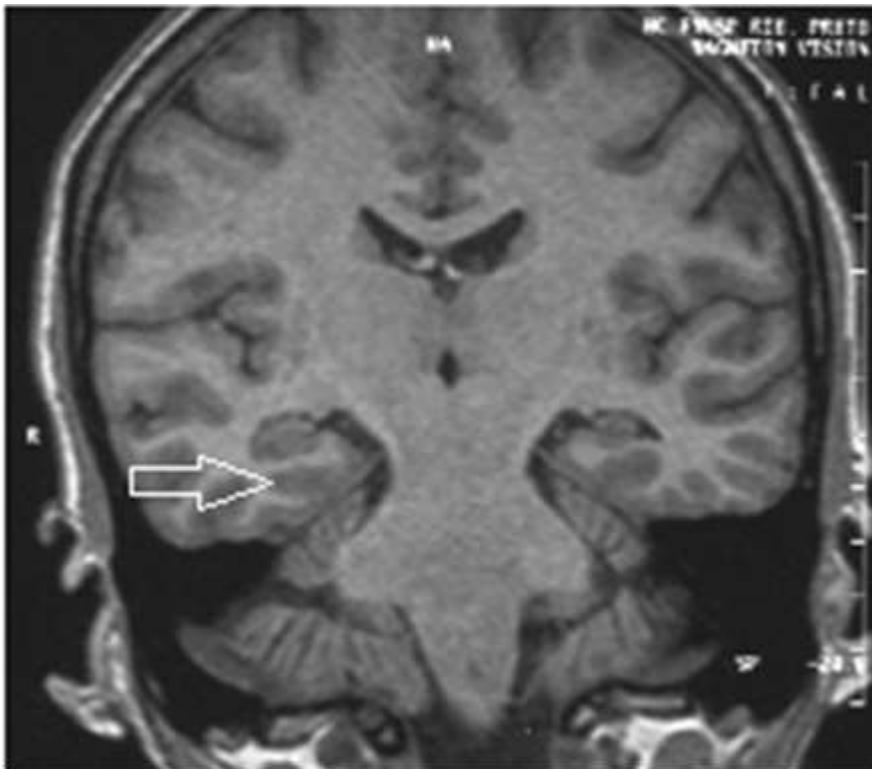
O EEG de superfície com eletrodos posicionados sobre o escalpe registra a atividade simultânea das células nervosas da substância cinzenta subjacente, ou seja, de grande parte do córtex cerebral. Embora estruturas subcorticais como o tálamo e o sistema reticular ativador ascendente interfiram com a atividade do córtex cerebral, a atividade elétrica desses núcleos não é propriamente registrada pelo EEG convencional.

Considerando então que o EEG registra ondas elétricas geradas no córtex cerebral localizado logo abaixo do escalpe, algumas “áreas corticais” importantes estão localizadas um pouco distantes da calota craniana, portanto, sua atividade elétrica pode não ser tão bem registrada.

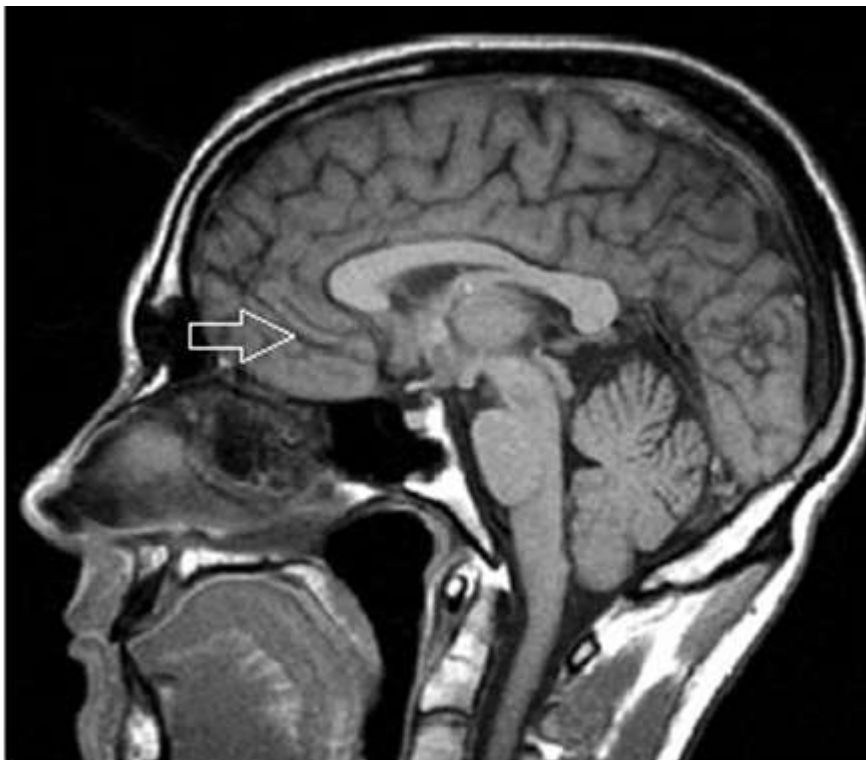
As imagens de ressonância magnética a seguir apontam (SETAS) algumas dessas regiões. Qual é o nome dessas áreas corticais?



Respostas



Seta: parte basal e medial do lobo temporal e hipocampo



Seta: parte basal do lobo frontal

Como você pôde ver nas imagens, essas regiões corticais se localizam distantes da superfície externa do crânio. Dessa forma, a presença de atividade elétrica anormal nessas regiões, como ocorre nos focos epiléticos, pode eventualmente não ser registrada por um EEG convencional. Esse é um dos motivos pelos quais um EEG pode ser normal em um paciente epilético. O outro motivo é a possibilidade do foco ocorrer de forma esporádica, não sendo detectado no momento do exame.

As ondas elétricas cerebrais registradas pelo EEG são, portanto, o resultado da atividade simultânea de vários neurônios localizados no córtex cerebral subjacente. A superfície cortical, ou substância cinzenta, é constituída por neurônios distribuídos em lâminas ou camadas, e por células da glia. Eletrodos intracelulares inseridos nas células nervosas do córtex podem revelar variações nos potenciais elétricos da membrana celular que são basicamente de 2 tipos:

- ✓ Os potenciais excitatórios (PEPS) e inibitórios pós-sinápticos (PIPS), que são potenciais menores e localizados na membrana, e
- ✓ Os potenciais de ação, que são amplos e se espalham pela membrana de toda a célula, especialmente em direção ao axônio. Os potenciais de ação induzem a liberação sináptica de neurotransmissores que vão produzir potenciais excitatórios ou inibitórios nas membranas pós-sinápticas do outro neurônio.

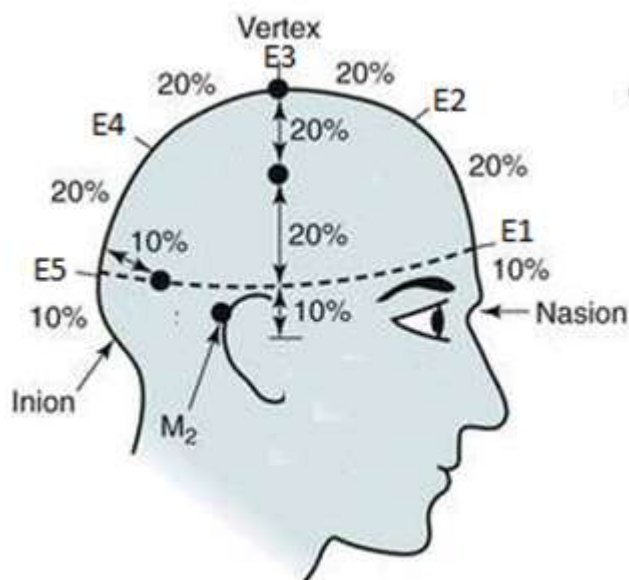
Qual desses 2 tipos de potenciais elétricos você acha que seria o principal gerador da atividade elétrica cerebral registrada pelo EEG?

- a) Os potenciais excitatórios e inibitórios pós-sinápticos ou
- b) Os potenciais de ação?

Os potenciais pós-sinápticos (PEPS e PIPS) promovem variações no potencial elétrico das membranas celulares que geram fluxos de íons no meio extracelular e nas células da glia. Como resultado disso, são produzidos campos de potenciais elétricos extracelulares que podem ser registrados a distância por aparelhos sensíveis. Tais campos elétricos persistem por mais tempo (têm maior duração) do que os potenciais de ação, mesmo que sua amplitude possa ser menor. E, com isto, geram mais campos de potencial elétrico à distância, os chamados “*far-field potentials*” que se dissipam para a calota craniana. Assim, esses potenciais são os principais geradores da atividade elétrica captada pelo EEG, e, não, os potenciais de ação.

A captação dos sinais elétricos no escalpe é feita por eletrodos e seus cabos de condução, que captam e conduzem a atividade elétrica cerebral até o aparelho de EEG. Para fazermos um bom registro do EEG precisamos posicionar os eletrodos em múltiplos pontos do escalpe, e, se possível, registrar simultaneamente a atividade elétrica no maior número deles.

O posicionamento dos eletrodos no escalpe não pode ser aleatório e deve seguir uma regra ou convenção. A sistematização do posicionamento dos eletrodos no escalpe serve para que os traçados sejam passíveis de reprodução por qualquer técnico de EEG e para que o examinador entenda a que região do escalpe corresponde determinado traçado ou derivação no EEG.



Por convenção, os eletrodos são posicionados no escalpe de acordo com o chamado “sistema 10-20”, segundo o qual as distâncias entre os diferentes eletrodos correspondem a 10% ou a 20% de uma distância absoluta ou referência medida entre 2 pontos principais. Parece um pouco difícil de compreender, mas basta dar uma olhada na figura a seguir para entender melhor essa ideia.

Se você observou bem a figura, viu que a medida que liga o nasion ao inion na linha média foi subdividida em porções dessa medida: 10%, 20%, 20%, 20%, 20%, 10%, que servem então como pontos de referência para a colocação dos eletrodos E1 a E5 (entradas 1 a 5). Esse procedimento se repete em outras linhas traçadas pelo escalpe.

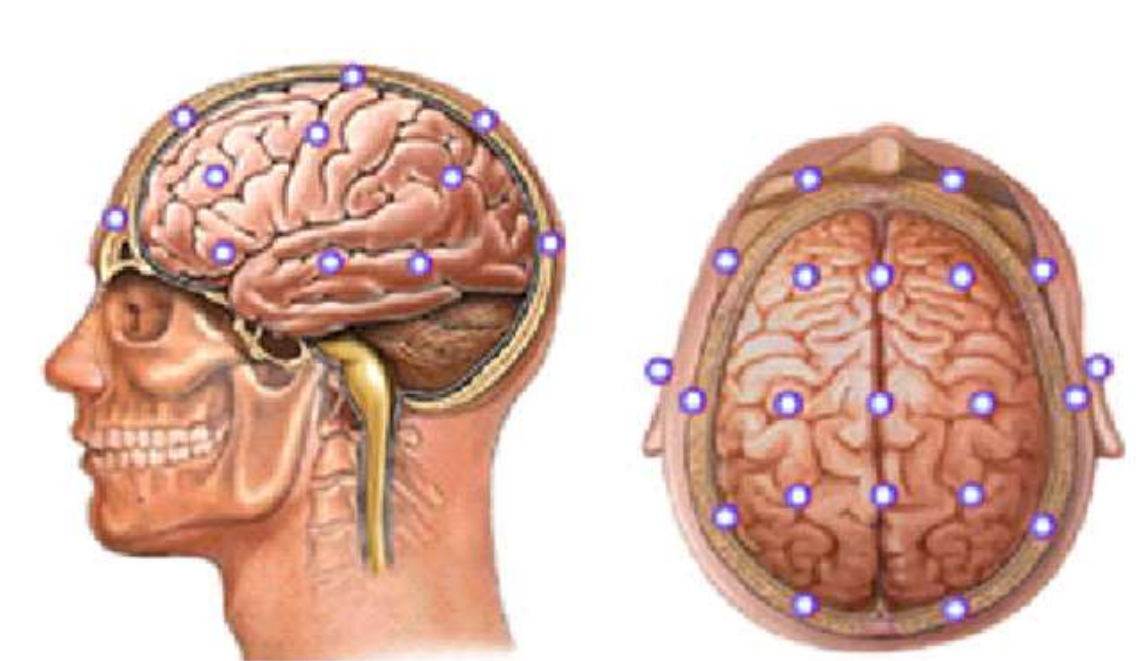


Figura. Eletrodos do sistema 10-20 e sua relação com giros corticais

Os eletrodos posicionados sobre o escalpe recebem uma denominação que corresponde às áreas corticais subjacentes. Além disso, eles são definidos por um número par ou ímpar que indica o posicionamento respectivamente sobre o lado direito ou esquerdo do escalpe, ou pela letra z, se estão posicionados sobre a linha média, ou sagital.

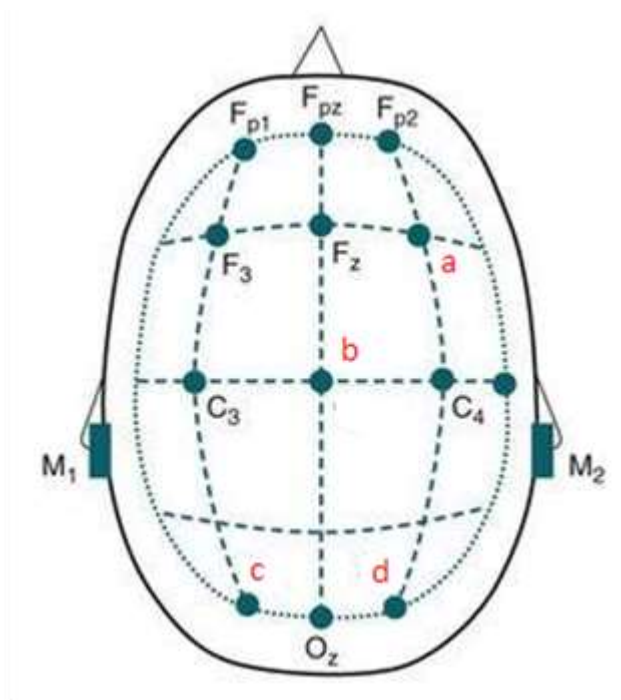
Dessa forma, os eletrodos são assim denominados:

Região cortical	Esquerdo	Linha sagital	Direito
Polo do lobo frontal	Fp1	Fpz	Fp2
Lobo frontal	F3	Fz	F4
Região central	C3	Cz	C4
Lobo parietal	P3	Pz	P4
Lobo temporal	T3		T4
	T5		T6
Lobo occipital	O1	Oz	O2

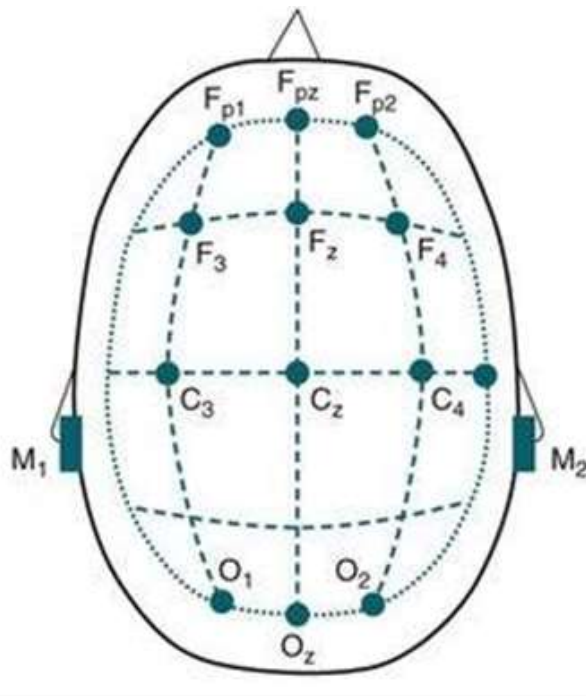
Alguns eletrodos são posicionados em locais “supostamente” inativos em relação ao campo elétrico do EEG, para servirem como pontos de referência para o registro do EEG. Esses locais são as orelhas (eletrodo A1 e A2) ou as mastoides (eletrodos M1 ou M2)

Na figura abaixo faça a correspondência entre as letras (a, b, c, d) com os eletrodos para registro do EEG e os nomeie:

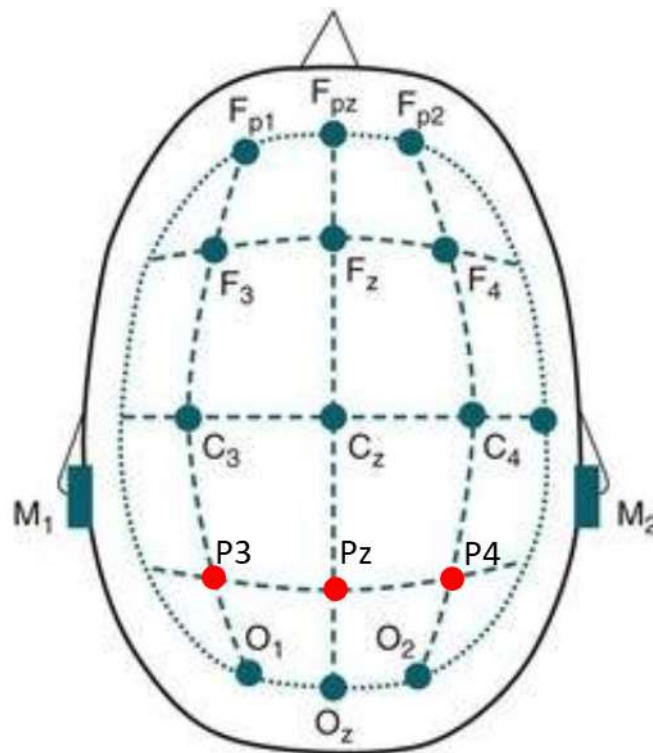
(a) _____ (b) _____ (c) _____ (d) _____



Reposta: (a) F4, (b) Cz, (c) O1, (d) O2



A figura não trouxe ainda os eletrodos colocados sobre a linha parietal (Pz, P3 e P4), Complete então adicionando esses pontos na figura.



Os eletrodos são fixados no escalpe com pasta adesiva e condutora, isolando a posição de cada eletrodo com pequeno pedaço de gaze. O eletrodos adere ao sistema eletrodo-pele, através da pasta.



Figura: colocação dos eletrodos de EEG

Para registrar a atividade elétrica, o aparelho de EEG registra a diferença de voltagem entre 2 eletrodos (E1-E2). A combinação desses 2 eletrodos para registro é denominada: canal ou derivação. Assim, no EEG sempre estaremos medindo a diferença de potencial elétrico entre 2 pontos no escalpe, ou entre 1 ponto no escalpe e outro numa área “eletricamente inativa”.

Então, quando você olhar um traçado de EEG, uma linha vai corresponder a:

Resposta: um canal ou derivação

Para o registro de um EEG convencional usam-se vários canais simultâneos, em geral, 8 a 21 canais, que são combinados para formar diferentes montagens (atualmente, registros de 8 canais são considerados obsoletos). Quando registramos o EEG, nós o fazemos ao longo do tempo a uma velocidade de 30mm/ segundo, e quando visualizamos uma página do EEG (no aparelho analógico, de papel) ou tela (no digital), estamos observando 30 segundos de registro (10 segmentos de 1 segundo, cada um com 30 cm de duração), segundo a figura 5 abaixo.

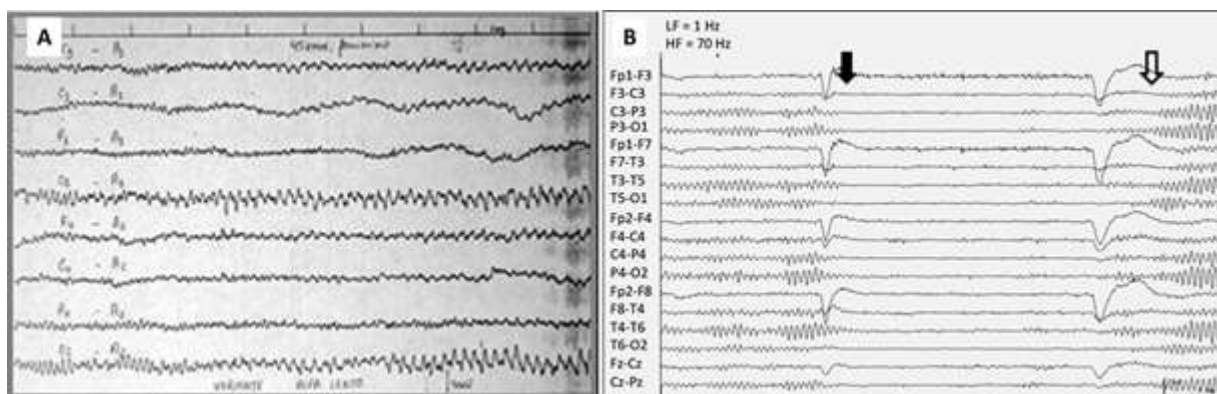


Figura. Trechos de 30 segundos de EEG, correspondendo a uma folha de papel, na figura da esquerda (A), e uma tela do computador, na figura da direita (B). Ambos são traçados realizados quando o paciente está em vigília, destacando-se bloqueio do ritmo alfa posterior com a abertura ocular (seta preta) e seu retorno ao fechamento dos olhos (seta clara), no registro da direita (B)

O aparelho de EEG registra através de eletrodos de captação posicionados sobre o escalpe as variações do potencial elétrico de várias frequências. No EEG convencional registramos especialmente os potenciais entre 1-30Hz, e, para podermos analisar o EEG, classificamos as ondas cerebrais segundo a sua frequência:

- ✓ **Ondas delta** < 3,5 Hz ou ciclos/seg
- ✓ **Ondas theta** 4-7 Hz (<3,5 e >8) ou ciclos/seg
- ✓ **Ondas alfa** 8-13 Hz ou ciclos/seg
- ✓ **Ondas beta** > 13Hz ou ciclos/seg

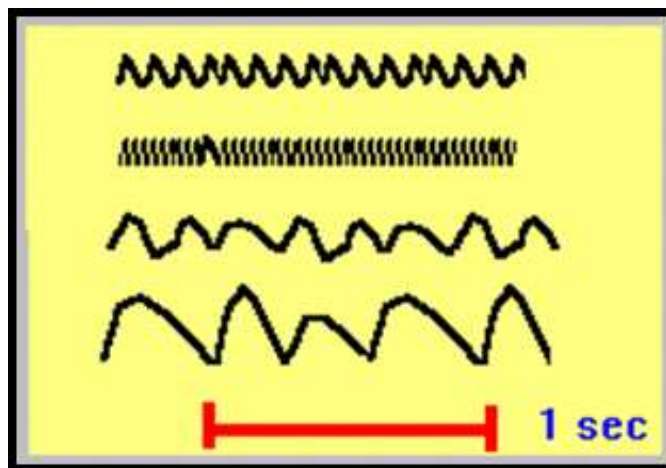


Figura: ilustração dos ritmos cerebrais em suas respectivas frequências em Hz, ou ciclos/segundo, de cima para baixo: alfa, beta, teta e delta

Como já discutimos, as diferentes frequências de ondas que registramos no EEG são consequência da atividade bioelétrica cerebral e especialmente da atividade sincronizada de neurônios corticais. **A atividade elétrica registrada no EEG é um “traçado atenuado” do fluxo de correntes iônicas extracelulares, resultante da atividade somada, ou sincronizada, de vários _____.**

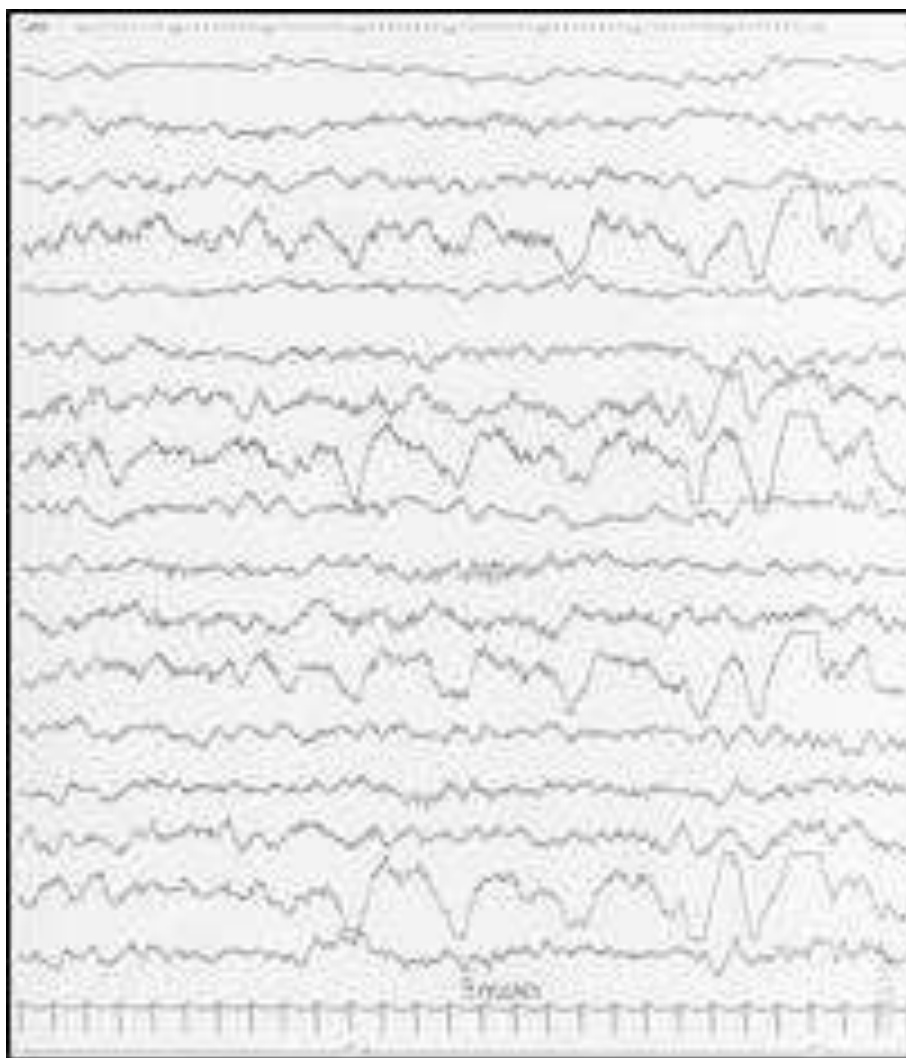
Resposta: neurônios corticais

A atenuação dos campos elétricos ocorre pelo fato dos ritmos produzidos no córtex cerebral, na ordem de milivolts, serem dissipados para o escalpe, onde chegam na ordem de microvolts. Além de captar e medir diferenças de potencial entre dois eletrodos, o aparelho de EEG precisa amplificar este sinal que chega em microvolts, isso para poder registrar as ondas em papel ou no sistema digital. Assim, o eletrencefalógrafo atua como um amplificador diferencial.

Os padrões de atividade cerebral registrados pelo EEG variam de acordo com o estado de alerta e os estágios do sono, além disso, há importantes variações relacionadas à idade e, portanto, associadas ao amadurecimento e ao envelhecimento cerebral.

O ritmo alfa é típico do estado de alerta, localiza-se nas regiões posteriores do escalpe e é bem evidente quando o sujeito está com os olhos fechados, atenuando-se quando os olhos são abertos. Nas fases iniciais do sono ocorre o aparecimento gradual de ondas lentas theta no traçado, enquanto o ritmo alfa desaparece.

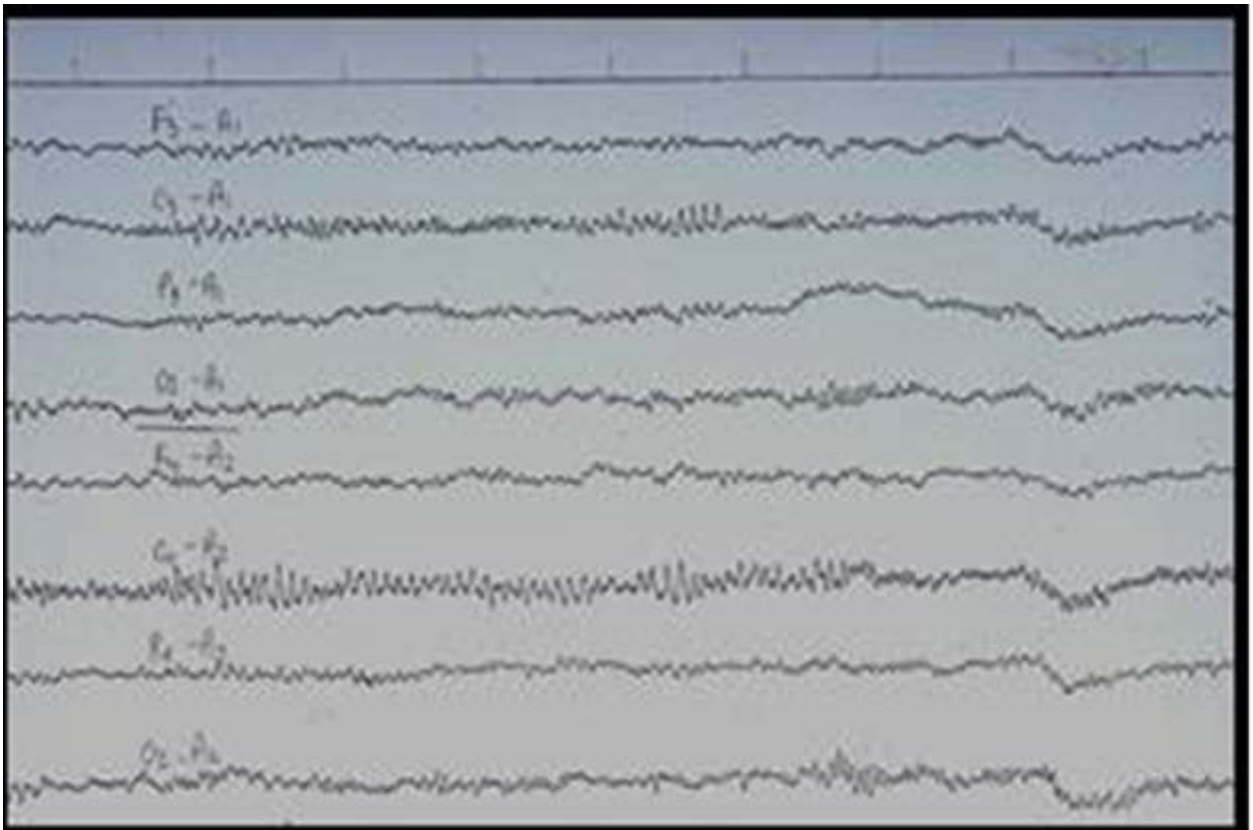
A realização de uma prova de hiperventilação voluntária por 3 minutos durante o registro do EEG provoca o aparecimento de ondas lentas de grande amplitude em todo o traçado, que desaparecem entre 30 e 60 segundos após o término desta prova. Tal prova, que produz um estado de alcalose respiratória, é feita para favorecer o aparecimento de focos epilépticos no traçado (e, eventualmente, de crises, como as ausências). O EEG de recém-nascidos e crianças pequenas é muito diferente do traçado de adultos, já que predominam ondas mais lentas, theta e delta, durante todo o registro.



EEG de sono superficial em criança de 3 meses (delta de predomínio posterior, teta e beta difuso)



EEG de vigília de adolescente, relaxado (ritmo alfa difuso, com raras ondas teta-delta posteriores)



EEG de idoso saudável em vigília, padrão de baixa voltagem, beta-teta dominante, ritmo em faixa alfa na região rolândica (ritmo μ), sem ritmo alfa posterior.

Considerando tudo isso, você acha que a interpretação do EEG:

- a) É relativamente fácil e pode ser feita por qualquer um
- b) Depende de algum treinamento mínimo
- c) É complexa e depende de um treinamento específico e longo
- d) Pode ser feita por não-especialistas sem problemas

Na verdade, interpretação do EEG é complexa e depende de competência e experiência do examinador. Para isso é necessário um treinamento específico e de longa duração, além da aquisição de experiência profissional na atividade. A interpretação correta do EEG não pode ser feita por profissionais não treinados ou inexperientes

É importante ressaltar que a interpretação correta do EEG depende da capacidade e experiência do neurofisiologista clínico. Até os dias de hoje é muito comum encontrarmos registros de EEG feitos de maneira precária e interpretados de forma totalmente incorreta. Fato que pode trazer inúmeras consequências negativas aos pacientes.

O EEG na epilepsia

Quando um grupo de neurônios apresenta uma atividade subitamente sincronizada, isso gera um potencial diferenciado e amplo que se destaca da atividade elétrica cerebral basal, e se apresenta na forma de uma atividade paroxística no EEG. Esse tipo de atividade pode ser registrado em condições fisiológicas, como ocorre no aparecimento dos elementos do sono em suas fases iniciais. Porém, as atividades paroxísticas são características dos fenômenos epiléticos. Nos casos de epilepsias com crises focais, essa atividade paroxística anormal pode ser claramente identificada como uma atividade síncrona e paroxística localizada em alguma região do escalpe. Ou seja, ela reflete uma descarga exagerada e síncrona de um foco epilético subjacente. Nas epilepsias com crises generalizadas, as descargas epiléticas são originalmente bilaterais, síncronas e difusas. Nas crises epiléticas focais com evolução para manifestações motoras bilaterais, uma descarga localizada em um foco epilético se espalha para regiões profundas cerebrais e daí para todo o córtex cerebral.

Essas atividades epiléticas paroxísticas são intermitentes e com frequência variável dependendo de cada caso. Podemos dizer que essas descargas:

- a. Provavelmente não produzem sintomas na maioria dos casos**
- b. Estão associadas a sintomas gerais como cefaleias, tonturas, etc.**
- c. Nunca são observadas em indivíduos sem epilepsia**
- d. São a representação eletrográfica de uma crise epilética que se manifesta simultaneamente ao paroxismo no EEG**
- e. Nenhuma das anteriores é verdadeira**

Essas descargas epiléticas eventuais, chamadas de interictais, geralmente são de muita curta duração (<1s ou poucos segundos), e apenas refletem a existência de uma hiperexcitabilidade anormal num grupo de neurônios, mas não estão associadas a manifestações clínicas perceptíveis (figura 8).

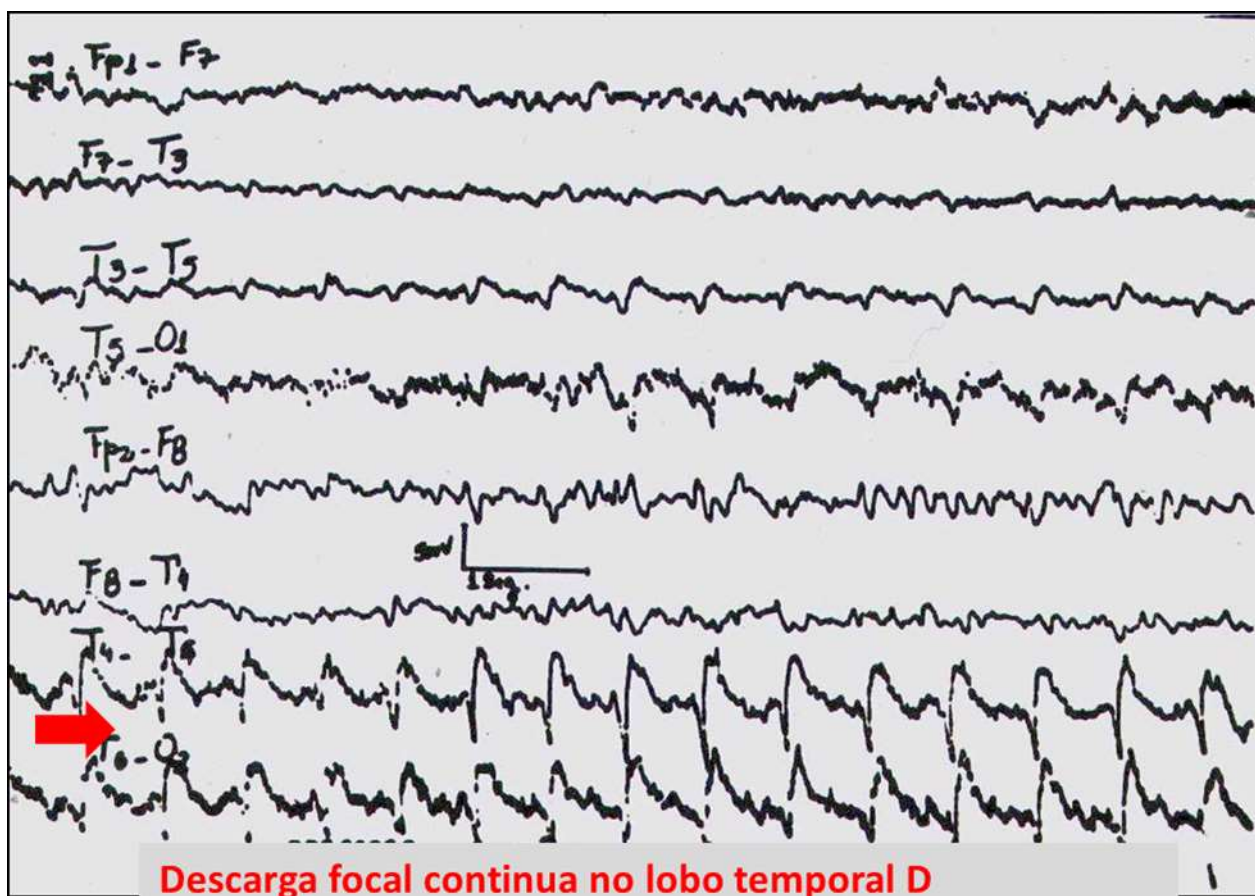


Figura: EEG de adulto com Epilepsia Temporal Mesial em sonolência, mostrando vários paroxismos epileptiformes (focos), tipo onda aguda, ponta e ponta-onda localizados em eletrodo especial, implantado no osso esfenoidal direito (SP2), para melhor captação da atividade elétrica hipocampal. As descargas focais têm duração inferior a um segundo cada uma e se repetem 8 vezes num trecho de 10 segundos

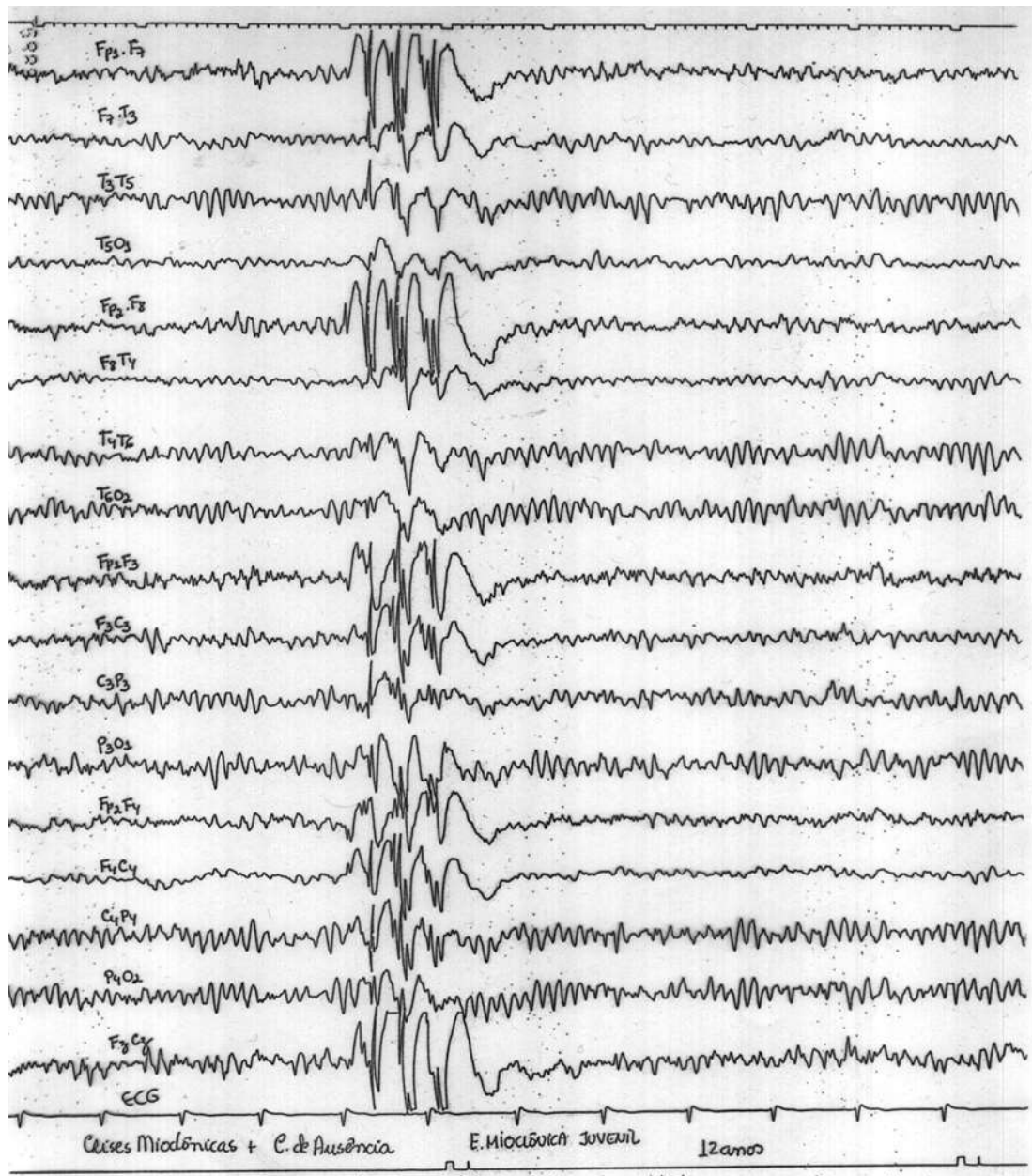


Figura: Surto de descarga generalizada do tipo complexo poliponta-onda a 3 ciclos/seg, com duração de 1,3 segundos, em jovem em vigília, com Epilepsia Mioclônica Juvenil. O paroxismo epileptiforme não se associou com manifestação clínica (interictal)

Quando ocorre uma crise epiléptica (chamado de *ictus epilépticos*), o EEG registra uma descarga paroxística geralmente rítmica, localizada ou generalizada, com uma duração bem maior, que corresponde à duração da crise epiléptica.

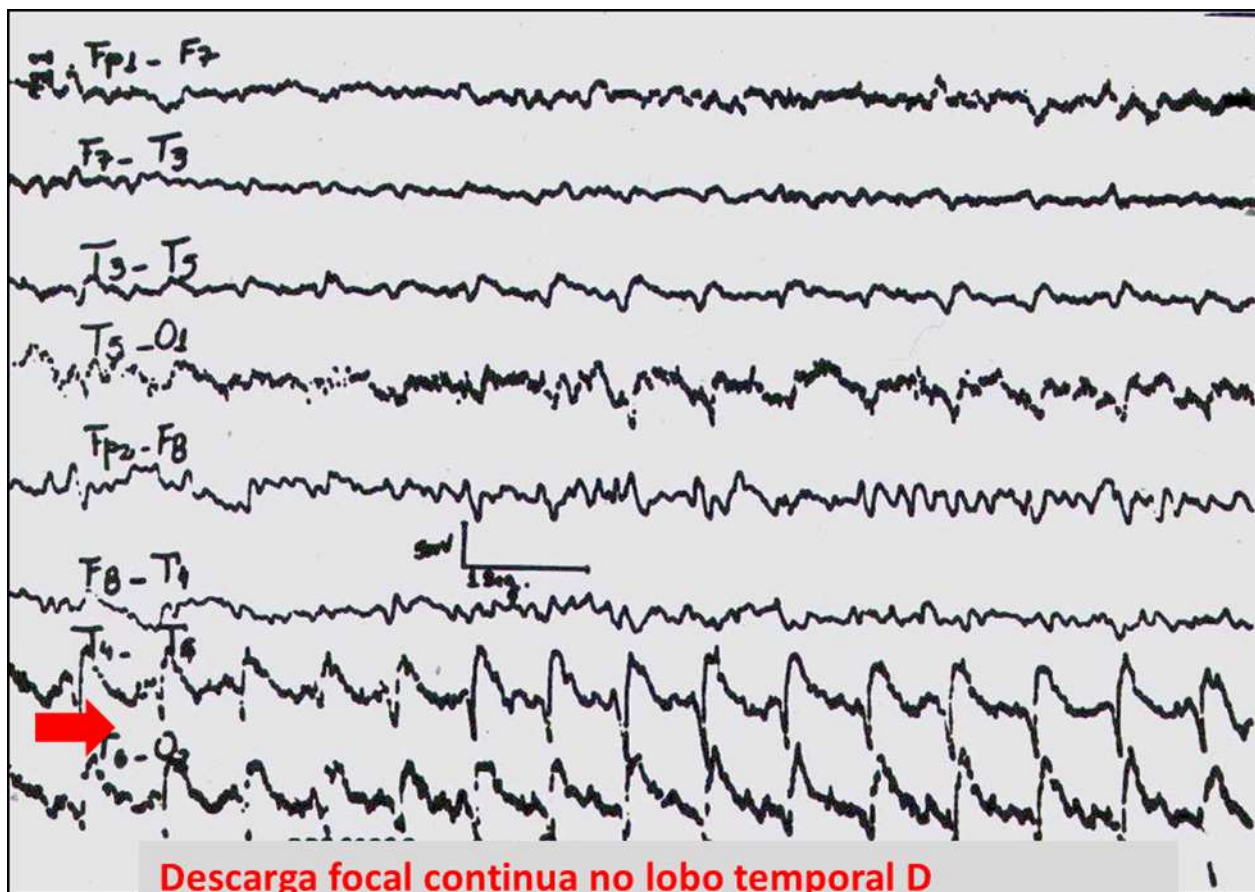


Figura. Trecho de EEG de paciente de 44 anos, em crise focal do quadrante posterior direito (estado confusional, desvio ocular para a esquerda), caracterizada por pontas rítmicas nos eletrodos têmporo-occipitais à direita (T6 e O2), com campo elétrico discreto nas áreas homólogas contralaterais (T5 e O1).

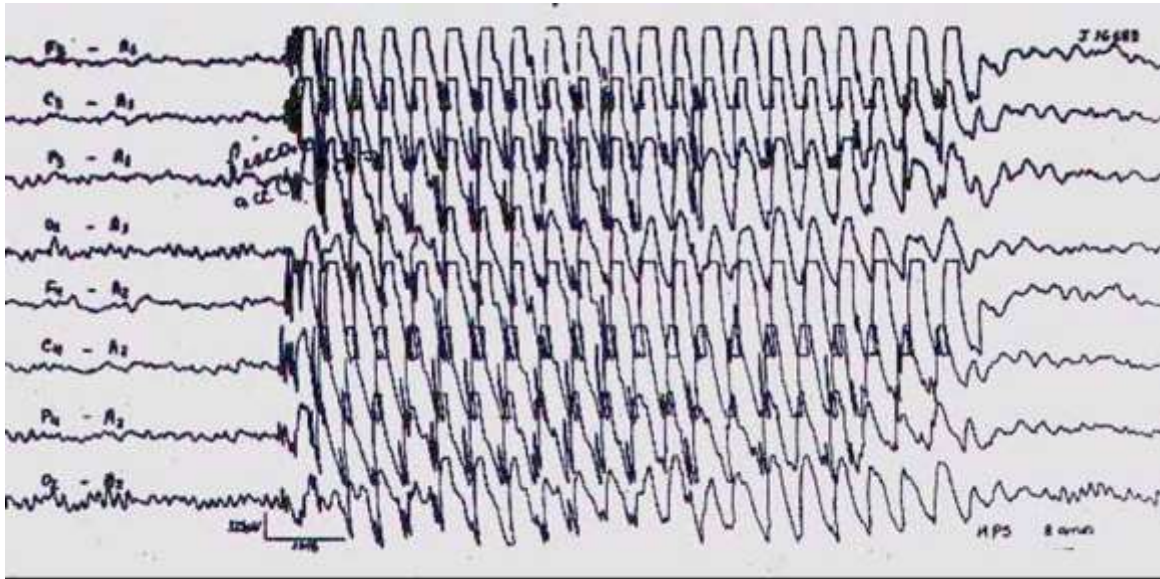


Figura. Crise de Ausência com duração de 7 segundos em criança de 8 anos (complexo ponta-onda rítmico a 3 Hz, generalizado). A criança ficou com olhar vago, sem contato com o ambiente e teve clonias das pálpebras levando a piscamento rítmico, recobrando a consciência logo ao término da descarga.

Na maioria dos casos, é bastante difícil e raro registrar uma crise epiléptica durante o registro de um EEG convencional. Vale lembrar, que cerca de 2-3% das pessoas sem epilepsia também podem apresentar paroxismos epileptiformes no EEG.

De uma maneira geral, que porcentagem dos pacientes com epilepsia você acha que apresentam atividade paroxística epileptiforme no EEG?

- a. 10%
- b. 30%
- c. 50%
- d. 95%
- e. 70%

Cerca de 70-90% dos pacientes com epilepsia apresentam alterações epileptiformes no EEG, mas isto depende da forma de Epilepsia. Por exemplo, nas Ausências (generalizadas), quando ainda sem tratamento, o EEG pode mostrar descargas e até crises durante a hiperventilação, em quase 100% dos casos. Já na Epilepsia do Lobo Frontal, especialmente nas focos basais e da fissura inter-hemisférica, a visualização dos paroxismos na superfície em traçado de rotina é bem mais rara. A identificação de uma atividade paroxística epileptiforme no EEG pode ajudar muito no diagnóstico da epilepsia, porém, o diagnóstico da epilepsia continua sendo essencialmente clínico.

Há alguns motivos para que o resultado de um EEG seja normal em um paciente com epilepsia. Um deles é o fato de que as atividades paroxísticas são intermitentes, assim, pode acontecer que, num registro que dure alguns minutos, elas não sejam registradas. Dessa forma, um EEG sem anormalidades não exclui definitivamente o diagnóstico de epilepsia.

Você se recorda de outro motivo para que o EEG convencional seja normal em um paciente com epilepsia? Responder: _____

Resposta: se o foco epilético se localizar em uma área cortical longe da superfície da calota craniana

Os paroxismos epileptiformes registrados no EEG ajudam a determinar o tipo de epilepsia: idiopática ou secundária, focal ou generalizada, e podem até indicar um diagnóstico específico de epilepsia como ocorre na epilepsia infantil com crises de ausência ou na epilepsia benigna da infância.

Como dissemos, é bem mais difícil se obter o registro de uma crise epilética durante um EEG convencional. Isso é mais comumente registrado em centros especializados, que avaliam pacientes com epilepsias complicadas através de registros prolongados com video-EEG. Nessa condição, os pacientes ficam internados sob monitorização clínica e registro contínuo do EEG por vários dias. Isso, para que seja possível fazer o registro clínico e eletroencefalográfico da crise epilética e assim permitir identificar com maior propriedade a origem das crises. Esse procedimento serve para eventualmente indicar tratamentos mais radicais, como o tratamento cirúrgico da epilepsia. Concluindo, o EEG é ainda hoje um exame subsidiário essencial na investigação de suspeita ou de casos definidos de epilepsia.

O EEG no diagnóstico de afecções não-epilépticas

O EEG já foi muito mais indicado para investigar outras alterações neurológicas além da epilepsia, numa época em que os exames de neuroimagem eram precários. Atualmente, estas indicações ficaram muito mais restritas. Apesar disso, o EEG ainda é importante, por exemplo, para o diagnóstico de morte encefálica (figura 11), e pode ser utilizado para avaliar a atividade cerebral em pacientes com alterações do nível de consciência (coma), bem como, o grau de recuperação e prognóstico, após uma lesão encefálica grave, por exemplo, secundária em traumatismo crânio-encefálico, infecções do sistema nervoso central e quadros pós-parada cardiorespiratória.

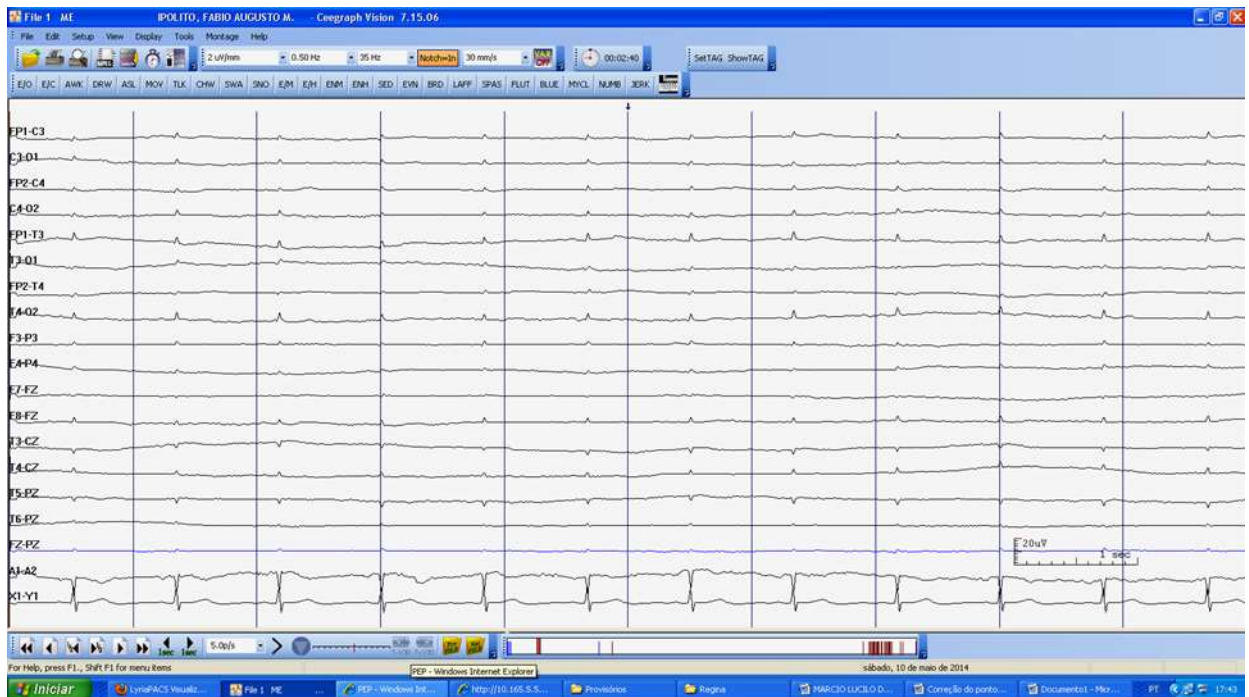


Figura: Trecho de EEG caracterizando “silêncio cerebral” ou “inatividade elétrica cerebral”, em criança com diagnóstico clínico comprovado de morte encefálica, secundária a infartos cerebrais bi-hemisféricos decorrentes de trombofilia. Note que o aparelho foi ajustado para máxima amplificação dos ritmos, preparado para registro de eventuais potenciais de muito baixa voltagem a partir de 2 microvolts ($2 \mu\text{V}/\text{mm}$ ou $20 \mu\text{V}/\text{cm}$, segundo régua de marcação no canto inferior direito). Observam-se apenas potenciais do eletrocardiograma contaminando alguns eletrodos do escalpo. O canal (derivação) A1-A2 corresponde a eletrodos colocados no membro superior direito, mostrando que as oscilações discretas da linha de base em todo o EEG são apenas atividade estática.

Outra aplicação do EEG é na avaliação nas situações clínicas em que há alterações no nível de consciência. O exame pode ajudar a reforçar a hipótese de um provável coma de origem metabólica, com o surgimento do clássico padrão de ondas trifásicas, que são vistas em encefalopatias diversas, com destaque para aquelas decorrentes de insuficiência hepática, uremia, intoxicações por diversas drogas (lítio, anestésicos, levodopa...), hiper e hipotireoidismo graves, hiponatremia grave, sepsis, encefalopatia relacionada ao uso do antibiótico Cefepime (especialmente em pacientes com função renal limítrofe), etc.

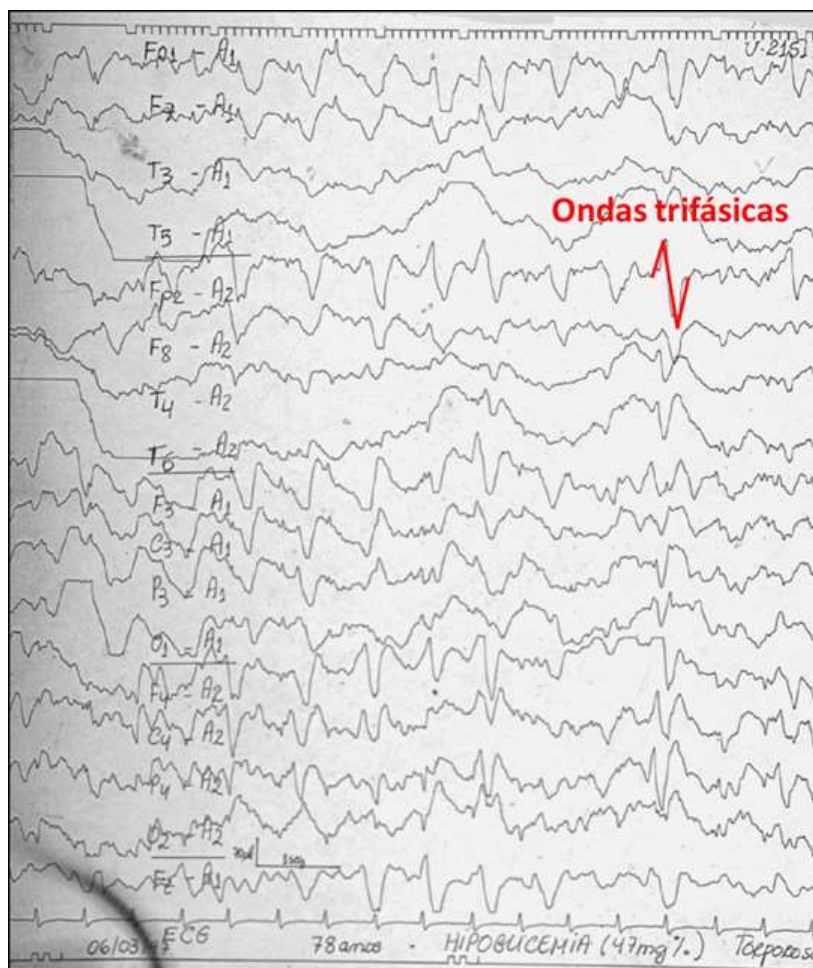


Figura: Encefalopatia com ondas trifásicas em paciente idosa com hipoglicemia grave. Note o destaque para tais ondas nas derivações Fp1-A1, Fp2-A2, F3-A1 e F4-A2.

Concluindo, o EEG é um exame complementar muito importante na avaliação de pacientes com epilepsia ou crises epiléticas, e na avaliação da morte encefálica. Além disso, pode ser útil em várias outras indicações.