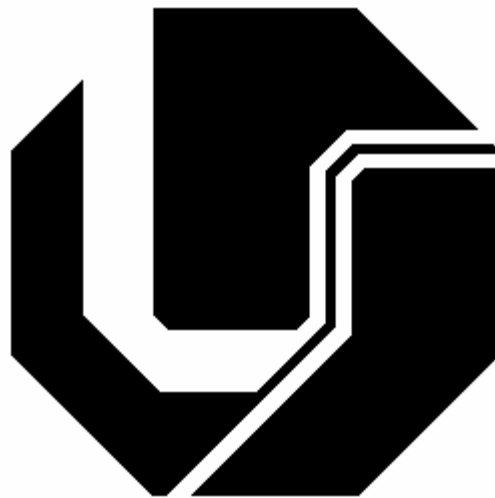


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



ANÁLISE DE POTENCIAIS EVOCADOS AUDITIVOS DE
TRONCO ENCEFÁLICO ATRAVÉS DE ATRIBUTOS
INSTANTÂNEOS DE SÉRIES TEMPORAIS

Kheline Fernandes Peres Naves

Março
2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Análise de Potenciais Evocados Auditivos de Tronco Encefálico
Através de Atributos Instantâneos de Séries Temporais

Kheline Fernandes Peres Naves

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte do cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Bioengenharia e Engenharia Biomédica

Adriano de Oliveira Andrade , PhD
Orientador (UFU)

Prof. Darizon Alves de Andrade, PhD.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

Março
2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Análise de Potenciais Evocados Auditivos de Tronco Encefálico
Através de Atributos Instantâneos de Séries Temporais

Kheline Fernandes Peres Naves

Texto da dissertação apresentada perante a banca examinadora abaixo, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Engenharia
Biomédica

Banca Examinadora:

Adriano O. Andrade, PhD - Orientador (UFU)

Alcimar Barbosa Soares, PhD (UFU)

Iêda Chaves Pacheco Russo, Dra. (PUC-SP, FCMSCSP)

Luciano Vieira Lima, Dr. (UFU)

Que o mérito gerado por este trabalho possa beneficiar todas as pessoas que diretamente ou indiretamente estão buscando, por meio da ciência, a evolução de seus conhecimentos. Agradeço a Deus, as pessoas e seres iluminados que estão sempre a meu lado dando o suporte espiritual necessário na busca de minhas aspirações, conhecimentos e do aprimoramento diante dessa existência.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. PhD. Adriano O. Andrade, que tornou possível a realização deste trabalho, não medindo esforços e empenho durante o tempo dedicado a arte de orientar, ter conhecido uma pessoa iluminada como você é auspicioso. Desejo que possa continuar direcionando toda essa energia e conhecimento as pessoas a sua volta.

Agradeço ao Prof. Dr. Luciano Vieira Lima, pelo interesse, confiança e dedicação ao longo desta jornada estando sempre presente, dando o suporte necessário nos momentos mais árduos.

Prof. PhD. Alcimar Barbosa, pela pessoa maravilhosa, compreensiva e atenciosa, que sabe transmitir principalmente que o conhecimento é uma conquista individual e que todos nós temos nossas capacidades a serem exploradas.

Ao Prof. Dr. Keiji Yamanaka, todos que compartilham da sua presença sabem que é um exemplo de profissionalismo e integridade, obrigada pela a honra da amizade construída ao longo deste trabalho.

A minha família que esteve privada da minha presença em vários momentos.

A João Barbosa, companheiro e amigo de todas as horas , que não mede esforços para a realização da minha felicidade, sem o seu apoio, paciência e compreensão este trabalho não seria possível.

Ao amigo que exerce com supremacia a arte de ensinar Prof. PhD. Cristian Novoa, que esteve presente ao longo de minha vida antes mesmo da idealização deste trabalho e é minha fonte de erudição, inspiração e de realização.

A amiga de todas as horas Marlice que participou dos anseios, das dúvidas e compartilhou de momentos únicos.

As amigas, Lucila, Angélica e Andreza, que me deram todo o suporte nessa pesquisa, obrigada pelos conselhos.

A todos os amigos do Biolab, que se dedicam todos os dias em prol da pesquisa.

A secretária Marly, pessoa primorosa e sempre disposta auxiliar a todos com muita generosidade.

E principalmente aos amigos compreenderam meus momentos de ausência.

*Se eu fosse privado de todas as minhas faculdades
com uma única exceção, eu escolheria manter o
poder da comunicação, pois através dele
eu poderia recuperar todas as demais.*

Daniel Webster

RESUMO

NAVES, K. F. P. **Análise de potenciais evocados auditivos de tronco encefálico através de atributos instantâneos de séries temporais.** 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

A extração de componentes de Potenciais Evocados Auditivos de Tronco Encefálico (PEATE), denominadas por ondas de Jewett, é um passo importante na investigação do funcionamento do sistema auditivo que visa a avaliação das vias auditivas. Contudo, essa avaliação é complexa e depende da experiência do examinador. Neste contexto, esta pesquisa visa comparar análises de PEATE fornecidas por diferentes examinadores, e verificar a possibilidade de discriminação das ondas de Jewett por meio de atributos instantâneos (AI), estimados pela transformada de Hilbert (TH). Os PEATE foram coletados de pessoas saudáveis, obedecendo ao critério de normalidade auditiva, e analisados por quatro examinadores. Foram realizadas análises estatísticas para o estudo da coerência entre essas análises. Na sequência, a TH foi utilizada para estimativa dos AI dos PEATE. Foi verificada uma compatibilidade entre avaliações realizadas pelos examinadores. As análises dos AI sugerem que estes podem ser usados como características discriminativas das diferentes ondas que compõem os PEATE. Estes resultados são benéficiais para pesquisas visando o desenvolvimento de ferramentas para a automatização da análise de PEATE, e também para aqueles estudos que objetivam a discriminação de doenças que atingem o sistema auditivo.

Palavras-chave: Potenciais evocados auditivos; Análise de séries temporais; Transformada de Hilbert; Ondas de Jewett.

ABSTRACT

NAVES, K. F. P. **Analysis of Auditory Brainstem Response Through Instantaneous Attributes of Time-series.** 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

The extraction of signal components from Auditory Brainstem Response (ABR), referred to as Jewett waves, is an important step in studies regarding the investigation of the behavior of the auditory system. However, this evaluation is complex and depends on the experience of the specialist. In this context, the objectives of this research are to compare ABR analyses provided by different examiners, and also to verify the possibility of discrimination of Jewett waves through the analysis of instantaneous attributes (IA) of time-series, estimated by the Hilbert Transform (HT). The ABR data were collected from healthy subjects, following the criterion of auditory normality, and analyzed by four examiners. A statistical study aiming to verify the coherence among these analyses was performed. The HT was then employed for calculating the IA from ABR signals. The compatibility among the results provided by the examiners was verified. The analysis of IA suggests that they can be used as discriminative features for the different waves that compose the ABR. These results are relevant for the development of tools for automatic ABR analysis. Furthermore, it contributes to investigations that aim to discriminate ABR related to distinct disorders.

Keywords: Auditory brainstem response; Hilbert transform; Jewett waves; Time-series analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO POR PORCENTAGEM DE DEFICIÊNCIAS NO BRASIL.	18
FIGURA 2 - AS PRINCIPAIS ONDAS DOS PEATC E SUAS CORRELAÇÕES ANATÔMICAS. (A) ESTRUTURAS ANATÔMICAS. (B) ONDAS DE JEWETT COM SEUS PICOS POSITIVOS.	23
FIGURA 3 - POTENCIAL DE SOMAÇÃO E DE AÇÃO DO NERVO COCLEAR	26
FIGURA 4 - ORELHA EXTERNA (1), MÉDIA (2) E INTERNA (3)	29
FIGURA 5 - SEQÜÊNCIA DO MOVIMENTO DO ESTRIBO NA JANELA OVAL. (1) ORELHA MÉDIA, CÓCLEA E NERVO AUDITIVO. (2) ESTRIBO NA JANELA OVAL E CÓCLEA. (3) CCE, (4) ÓRGÃO DE CORTI. (5) ÓRGÃO DE CORTI MOSTRANDO A DISPOSIÇÃO DAS CÉLULAS.....	31
FIGURA 6 - LABIRINTO MEMBRANOSO COM A CÓCLEA E A IMAGEM AO LADO AMPLIADA REVELA O ÓRGÃO DE CORTI, COM AS ESTRUTURAS ENVOLVIDAS NA AUDIÇÃO. NO QUADRADO MENOR AS CÉLULAS CILIADAS EXTERNAS E AS CÉLULAS CILIADAS INTERNAS..	31
FIGURA 7 - ÓRGÃO DE CORTI, COM AS CAMADAS DE CÉLULAS CILIADAS INTERNAS E EXTERNAS, ESTEREOCÍLIOS E MEMBRANA TECTÓRIA E OS AXÔNIOS AFERENTES E EFERENTES.....	32
FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS AO LONGO DA MEMBRANA BASILAR.	33
FIGURA 9 - PROCESSO DE DESPOLARIZAÇÃO DE UMA CÉLULA CILIADA E AO LADO O GRÁFICO MOSTRA A FREQUÊNCIA DE DISPAROS.....	34
FIGURA 10 - RESPOSTA DA ATIVIDADE NEURAL DE UMA FIBRA DO NERVO AUDITIVO POR ESTIMULAÇÃO A UMA ONDA SONORA SENOIDAL. NA PARTE (A) O REGISTRO DA ATIVIDADE NEURAL E NA PARTE (B) O ESTÍMULO SENOIDAL.	35
FIGURA 11 - DISPOSIÇÃO DAS FIBRAS DOS NEURÔNIOS AFERENTES E EFERENTES E A INERVAÇÃO DAS CCI E CCE.....	36
FIGURA 12 - FIBRAS DO NERVO AUDITIVO, SAINDO DA CÓCLEA E PERCORRENDO AS CONEXÕES ATÉ O CÓRTEX AUDITIVO.....	37
FIGURA 13 - SALA DE EXAMES COM O PACIENTE POSICIONADO DE FORMA CONFORTÁVEL E PESCOÇO APOIADO PARA EVITAR TENSÃO NA REGIÃO CERVICAL.....	40
FIGURA 14 - ILUSTRAÇÃO DOS TRÊS TIPOS DE POLARIDADE. R = RAREFEITA, C= CONDENSADA E R E C= ALTERNADA.	42
FIGURA 15 - DIAGRAMA DO SISTEMA DE GRAVAÇÃO E SISTEMA DE ESTIMULAÇÃO DOS PEATC. NA PARTE SUPERIOR TEMOS O SISTEMA DE GRAVAÇÃO E NA PARTE INFERIOR TEMOS O SISTEMA DE ESTIMULAÇÃO.	44
FIGURA 16 - ESQUEMA DA INTERFACE PELE-ELETRÓLITO E ELETRÓLITO-ELETRODO	45
FIGURA 17 - POSICIONAMENTO DOS ELETRODOS PARA A AQUISIÇÃO DOS PEATC.....	46

FIGURA 18 - DIAGRAMA QUE MOSTRA A ENTRADA DO SINAL SEGUIDA DA CONVERSÃO A/D E A PASSAGEM PELO FILTRO DIGITAL, CONVERSÃO D/A E RECONSTRUÇÃO DO SINAL	47
FIGURA 19 - TIPOS DE FILTROS. FIGURA (A) MOSTRA O FILTRO PASSA- ALTA, FIGURA (B) PASSA - BAIXA, FIGURA (C) PASSA-BANDA E FIGURA (D) MOSTRA O FILTRO NOTCH.	48
FIGURA 20 - NA FIGURA (A) MOSTRA UM SINAL CONTÍNUO NO TEMPO E NA AMPLITUDE E FIGURA (B) MOSTRA SINAL DISCRETIZADO NO TEMPO E CONTÍNUO NA AMPLITUDE.....	49
FIGURA 21 - DISPOSIÇÃO DAS ONDAS POR POTÊNCIA, CONSIDERANDO OS VALORES DE LATÊNCIA AVALIADOS PELOS EXAMINADORES. O INTERVALO DE CONFIANÇA DA MÉDIA (IC) E DESVIO PADRÃO (DP) SÃO APRESENTADOS.	59
FIGURA 22 - VALORES MÉDIOS COM IC (INTERVALO DE CONFIANÇA) DA MÉDIA E DESVIO PADRÃO PARA AS LATÊNCIAS DA ONDA V NA POTÊNCIA 60 DBNA AVALIADAS PELOS EXAMINADORES 1, 2, 3 E 4.....	61
FIGURA 23 - VALORES MÉDIOS COM IC (INTERVALO DE CONFIANÇA) DA MÉDIA E DESVIO PADRÃO PARA AS LATÊNCIAS DA ONDA IV NA POTÊNCIA 40 DBNA AVALIADAS PELOS EXAMINADORES 1, 2 E 3. OBSERVE A DIFERENÇA NA MARCAÇÃO DA LATÊNCIA PARA A ONDA IV FEITA PELO EXAMINADOR 3.	61
FIGURA 24 - EXEMPLO DE UMA SÉRIE TEMPORAL CONTÍNUA. REGISTRO DO SINAL DE ECG. ...	66
FIGURA 25 - EXEMPLO DE UMA SÉRIE TEMPORAL DISCRETA. GRÁFICO (FOREX) DA VARIAÇÃO DOS VALORES DA MOEDA LIBRA EM RELAÇÃO AO DÓLAR DURANTE OS MESES DE JANEIRO E FEVEREIRO DE 2007.....	67
FIGURA 26 - DIAGRAMA COM A SEQUÊNCIA DE UMA SÉRIE TEMPORAL PARA O CÁLCULO DOS ATRIBUTOS INSTANTÂNEOS.	69
FIGURA 27 - OS PONTOS MARCADOS NO SINAL É A DETECÇÃO DAS ONDAS I, II, III, IV E V, REALIZADA PELOS EXAMINADORES DENTRO DAS RESPECTIVAS JANELAS. AS LINHAS EXTERNAS, NA PARTE SUPERIOR E INFERIOR DO SINAL, SÃO OS INTERVALOS DE CONFIANÇA SUPERIOR E INFERIOR DA MÉDIA.	70
FIGURA 28 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O CÁLCULO DA AMPLITUDE INSTANTÂNEA PARA A POTÊNCIA DE 80 DBNA.....	71
FIGURA 29 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O CÁLCULO DA AMPLITUDE INSTANTÂNEA PARA A POTÊNCIA DE 60 DBNA.....	71
FIGURA 30 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O CÁLCULO DA AMPLITUDE INSTANTÂNEA PARA A POTÊNCIA DE 40 DBNA.....	72
FIGURA 31 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O CÁLCULO DA AMPLITUDE INSTANTÂNEA PARA A POTÊNCIA DE 20 DBNA.....	72
FIGURA 32 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O CÁLCULO DA FASE INSTANTÂNEA PARA A POTÊNCIA DE 80 DBNA.....	73
FIGURA 33 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O CÁLCULO DA FASE INSTANTÂNEA PARA A POTÊNCIA DE 60 DBNA.....	73

FIGURA 34 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O CÁLCULO DA FASE INSTANTÂNEA PARA A POTÊNCIA DE 40 DBNA.....	74
FIGURA 35 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O CÁLCULO DA FASE INSTANTÂNEA PARA A POTÊNCIA DE 20 DBNA.....	74
FIGURA 36 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O CÁLCULO DA FREQUÊNCIA INSTANTÂNEA PARA A POTÊNCIA DE 80 DBNA.....	75
FIGURA 37 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O CÁLCULO DA FREQUÊNCIA INSTANTÂNEA PARA A POTÊNCIA DE 60DBNA.....	76
FIGURA 38 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O CÁLCULO DA FREQUÊNCIA INSTANTÂNEA PARA A POTÊNCIA DE 40 DBNA.....	76
FIGURA 39 - RESULTADOS OBTIDOS PARA O CÁLCULO DA FREQUÊNCIA INSTANTÂNEA PARA A POTÊNCIA DE 20 DBNA.....	77
FIGURA 40 - ACIMA TEMOS O SINAL MÉDIO DE PEATC NA POTÊNCIA DE 80DBNA E O CÁLCULO DOS ATRIBUTOS INSTANTÂNEOS. NA PARTE (B) TEMOS A AMPLITUDE INSTANTÂNEA, NA PARTE (C) TEMOS A FASE INSTANTÂNEA E NA (D) TEMOS A FREQUÊNCIA INSTANTÂNEA.....	78

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PRINCIPAIS TIPOS DE DEFICIÊNCIAS NO BRASIL E A DISTRIBUIÇÃO POR GÊNERO ..	17
TABELA 2 - PRINCIPAIS POTENCIAIS AUDITIVOS COM A DESCRIÇÃO DE SUAS PROPRIEDADES	25
TABELA 3 - EQUIPAMENTOS DE PEATC	56
TABELA 4 - CONFIGURAÇÕES DO HARDWARE E SOFTWARE UTILIZADAS NA COLETA DE SINAIS.....	56
TABELA 5 - TABELA MOSTRA A VERIFICAÇÃO DOS PARES DE EXAMINADORES, ONDE TEMOS E1 (EXAMINADOR 1), E2 (EXAMINADOR 2), E3 (EXAMINADOR 3) E E4 (EXAMINADOR 4)	57
TABELA 6 - DIFERENÇAS ESTATISTICAMENTE SIGNIFICANTES ENCONTRADAS ENTRE AVALIAÇÕES FORNECIDAS PELOS EXAMINADORES (1, 2, 3 E 4) PARA AS ONDAS IV E V NAS INTENSIDADES DE 60 E 40 DBNA.....	60

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABR	Auditory Braistem Response
A/D	Conversão Analógico Digital
AI	Atributo instantâneo
ANSI	American National Standards Institute
BAER	Brainstem Auditory Evoked Response
Bera	Brainstem Evoked Response Audiometry
BSER	Brainstem Evoked Response
CIF	Classificação Internacional de Funcionalidade
dB	Decibel
dBNA	Decibel nível de audição
dBNPS	Decibel nível de pressão sonora
D/A	Conversão Digital Analógico
ECG	Eletrocardiograma
Ecochg	Eletrococleografia
EEG	Eletroencefalograma
EMG	Eletromiograma
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
Hz	Hertz
IC	Implante Coclear
NA	Nível de audição
NPS	Nível de Pressão Sonora
OMS	Organização Mundial de Saúde
P	Pressão
PE	Potenciais Evocados
PEA	Potenciais Evocados Auditivos
PEATC	Potenciais Evocados Auditivos de Tronco Cerebral
PEATE	Potenciais Evocados Auditivos de Tronco Encefálico
rad	Radianos
SNAC	Sistema Nervoso Auditivo Central
TH	Transformada de Hilbert
V	Volt
μ V	micro volt

SUMÁRIO

1 A TECNOLOGIA E A SAÚDE AUDITIVA	15
1.1 Motivação para o desenvolvimento da pesquisa	17
1.2 Objetivos da Pesquisa	19
2 OS POTENCIAIS EVOCADOS	21
2.1 O Princípio dos Potenciais Evocados	21
2.2 Classificação dos Potenciais Evocados	24
2.3 Potenciais Evocados Auditivos	24
2.3.1 Eletrococleografia	26
2.3.2 Potenciais evocados de tronco Encefálico	27
2.3.3 Potenciais evocados de média latência	28
2.3.4 Potenciais evocados de latência tardia	28
2.4 Conclusão	28
3 O SISTEMA AUDITIVO	29
3.1 Bases Neurofisiológicas da Audição	30
3.1.1 A Cóclea	31
3.1.2 O Nervo Auditivo	34
3.3 Conclusão	38
4 PARÂMETROS PARA O EXAME DE PEATC	39
4.1 Considerações sobre o paciente	39
4.2 Instrumentação	40
4.2.1 Estimulação	41
4.2.2 Intensidade do estímulo	42
4.2.3 Velocidade de apresentação do estímulo	43
4.3 Gravação	43
4.4 Eletrodos	44
4.4.1 Posicionamento dos eletrodos	45
4.4.2 Impedância do eletrodo	46
4.5 Filtros	47
4.6 Amplificadores	48
4.7 Digitalização do Sinal	49
4.8 Processo de Promediação	50
4.9 O processo de avaliação dos PEATE	51
4.10 Conclusão	52
5 ESTUDO COMPARATIVO DA ANÁLISE DOS PEATC ENTRE EXAMINADORES	53
5.1 Objetivo do Estudo Comparativo	55
5.2 Materiais e métodos	55
5.2.1 Aquisição dos PEATE	56
5.2.2 Avaliação das Ondas dos PEATC pelos examinadores	57
5.3 Resultados	57
5.4 Discussão	62
5.6 Conclusão	64
6 APLICAÇÃO DE ATRIBUTOS INSTANTÂNEOS DE SÉRIES TEMPORAIS	65

6.1 Séries Temporais	66
6.2 Atributos Instantâneos Calculados pela Transformada de Hilbert.....	67
6.2.1 <i>Cálculo do intervalo de confiança para a média por meio da técnica</i> <i>Bootstrap</i>	<i>69</i>
6.3 Resultados	70
6.4 Discussão	78
6.5 Conclusão	80
 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.....	 82
7.1 Principais Contribuições da Pesquisa.....	83
7.2 Trabalhos futuros	83
 REFERÊNCIAS	 85
GLOSSÁRIO	90
ANEXO A - Carta de Aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa.....	92
APÊNDICE A - Cálculo do intervalo de confiança para a média por meio da técnica Bootstrap	93
APÊNDICE B - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	94
APÊNDICE C - Avaliação dos Examinadores (E1, E2, E3 e E4).....	95
APÊNDICE D – Audiometrias	109
APÊNDICE D – Publicações	114

1 A TECNOLOGIA E A SAÚDE AUDITIVA

O desenvolvimento científico aliado a uma visão prática, geralmente procura produzir conhecimento e tecnologia necessária à comunidade. Atualmente, a aplicação da ciência com o objetivo central de aperfeiçoar e implementar métodos e ferramentas empregadas na área de saúde vem sendo objeto de estudo de diversos grupos de pesquisa.

Neste contexto, a Engenharia Eletrônica, Engenharia Biomédica e Engenharia de Computação têm contribuído, significativamente, para o desenvolvimento de equipamentos sofisticados e técnicas modernas utilizadas no processamento de sinais biológicos, e implementação de sistemas inteligentes e ferramentas matemáticas empregadas em áreas como a Bioestatística. Com isso, tem-se observado um aperfeiçoamento das técnicas usadas no diagnóstico, rápido e preciso de doenças.

Dentre as principais disfunções que afetam uma parcela considerável da população mundial, estão aquelas que interferem no funcionamento do sistema auditivo (SA). Essas doenças interferem na qualidade de vida das pessoas, pois o SA é um dos canais de entrada da comunicação humana.

Uma das formas de se avaliar a função auditiva é o estudo dos Potenciais Evocados Auditivos do Tronco Encefálico (PEATE), que permite uma avaliação eletrofisiológica das estruturas neurológicas da via auditiva e auxilia na identificação de perdas auditivas em adultos e crianças.

Os PEATE são sinais (ou formas de ondas) característicos, resultantes da combinação de respostas de atividades neurais a estímulos sonoros, detectados pelo córtex. A detecção dos PEATE é um procedimento não invasivo e requer o posicionamento preciso de eletrodos sobre a superfície da pele. Tal procedimento deve ser realizado por especialistas da área (e.g., fonoaudiólogos, otorrinoalaringologistas). Além disso, esse profissional é responsável também pela avaliação e extração de informações dos PEATE.

Os resultados dessa avaliação são dependentes de várias variáveis. Dentre elas ressalta-se a experiência do especialista e a dificuldade de padronização em protocolos e equipamentos utilizados na coleta dos dados. Sendo assim, ao longo dos anos diversos sistemas têm sido propostos com a finalidade de se automatizar a extração de informações dos PEATE.

Neste contexto, a proposta desse trabalho é extrair informações dos PEATE, por meio de técnicas de processamento digital de sinais, que possam auxiliar no estudo e interpretação dos mesmos. Essas informações podem ser úteis no desenvolvimento de sistemas que visam automatizar a análise dos PEATE e, também potencialmente, para aqueles estudos que utilizem os PEATE como ferramenta de diagnóstico.

Esse trabalho está dividido em sete capítulos. O presente capítulo apresentará uma breve introdução ao tema da pesquisa com a motivação para o seu desenvolvimento e os objetivos.

O Capítulo 2 descreve sobre os potenciais evocados e faz uma explanação sobre os principais potenciais evocados auditivos.

O funcionamento básico do SA é apresentado no Capítulo 3, com suas principais características anátomo-fisiológicas. Essa descrição é essencial para o entendimento dos princípios de geração e medição dos PEATE. Dando seqüência, o Capítulo 4 fornece uma descrição detalhada do protocolo utilizado para a coleta de PEATE nesse estudo.

O Capítulo 5 apresenta resultados de uma comparação entre análises de PEATE executadas por diversos especialistas. Esses resultados tiveram como finalidade verificar a consistência de avaliações independentes fornecidas por quatro examinadores e, também, verificar a corretude dos dados coletados.

No Capítulo 6, a transformada de Hilbert (TH) é introduzida como uma ferramenta promissora para a análise de PEATE. Por meio da TH é possível estimar atributos instantâneos (amplitude, fase e frequência) dos PEATE. Os resultados apresentados nesse capítulo mostram que esses atributos podem ser utilizados como características relevantes na discriminação de eventos fisiológicos responsáveis pela geração dos PEATE.

Finalmente, o Capítulo 7 apresenta as considerações finais, contribuição da pesquisa e estudos futuros.

Após o Capítulo 7, estão os apêndices e anexos, contendo um glossário e acrônimos, na seqüência são apresentados os cálculos do intervalo de confiança pela técnica do “bootstrap”, o modelo do termo de consentimento, as avaliações dos especialistas, as audiometrias realizadas nos voluntários e as publicações geradas por este trabalho.

1.1 Motivação para o desenvolvimento da pesquisa

De acordo com padrões estabelecidos pelo *American National Standards Institute* (ANSI-1989) [1], a perda auditiva é considerada como a diferença existente entre o desempenho do indivíduo e a habilidade normal para a detecção sonora, ou seja, a dificuldade em ouvir e compreender o que está sendo ouvido ao longo do dia, em situações rotineiras e em ambientes que o sujeito frequenta em seu cotidiano, afetando assim a capacidade funcional do indivíduo. Na Classificação Internacional de Funcionalidade (CIF) são consideradas a funcionalidade e a incapacidade, relacionadas às condições de saúde, como sendo a identificação do que uma pessoa “pode ou não pode fazer na sua vida diária”, tendo em vista as funções dos órgãos ou sistemas e estruturas do corpo, assim como as limitações de atividades e da participação social no meio ambiente onde a pessoa vive [2].

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), estima-se que 10% das pessoas de qualquer população têm algum tipo de deficiência e que 1,5% são portadores de deficiência auditiva. No Brasil, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) obtidos no censo realizado em 2000, que levantou dados sobre a população com deficiência auditiva no Brasil, estimou-se a existência de 5.735.099 (cinco milhões e setecentos e trinta e cinco mil e noventa e nove) surdos [3], como mostra a Tabela 1.

TABELA 1 - Principais tipos de deficiências no Brasil e a distribuição por gênero

Tipos de Deficiência	Visual	Motora	Auditiva	Mental	Física	Total
Homem	7.259.074	3.295.071	3.018.218	1.545.462	861.196	15.979.021
Mulher	9.385.768	4.644.713	2.716.881	1.299.474	554.864	18.601.700
Total	16.644.842	7.939.784	5.735.099	2.844.936	1.416.060	34.580.721

FONTE: IBGE, 2000. Censo.

Esse levantamento levou o governo brasileiro a instituir uma política nacional de atenção à saúde auditiva (Pnasa) que, dentre as suas diretrizes destaca a preocupação com a identificação dos problemas auditivos e as situações de risco que levam a deficiência auditiva [4]. Para as pessoas que são identificadas com perda auditiva, foi criado um formulário de seleção e adaptação de aparelhos de amplificação sonora individual, no qual uma bateria de exames é realizada com a finalidade de identificar o local e o grau da perda auditiva. Um dos

principais exames utilizados no protocolo de avaliação auditiva é o de PEATE, sem o qual a instituição responsável pelo programa não pode ser credenciada pelo governo. A Figura 1 mostra a distribuição por porcentagem das deficiências no Brasil.

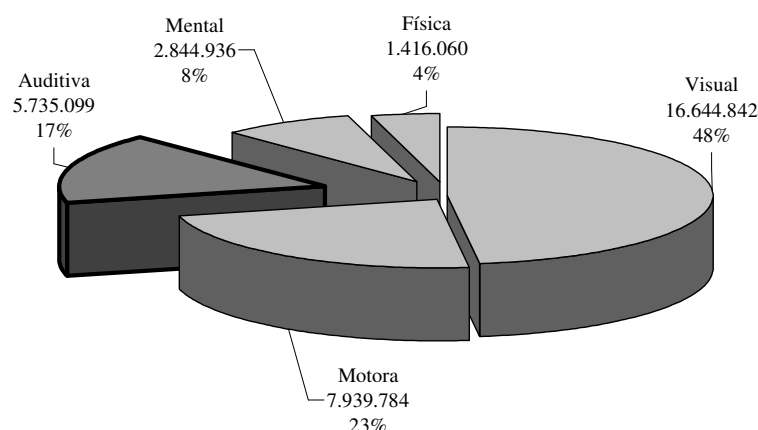


FIGURA 2 - Distribuição por porcentagem de deficiências no Brasil.

FONTE: IBGE, 2000. Censo.

Além dos órgãos públicos, a rede privada tem participado crescentemente no processo de avaliação da função auditiva, principalmente em crianças, onde setores em clínicas, hospitais e maternidades, têm implantado programas de triagem auditiva ou *screening* auditivo cujo objetivo é avaliação auditiva da população infantil [5]. O exame dos PEATE auxilia na determinação dos limiares auditivos em alterações detectadas pela triagem auditiva, contribuindo, assim, para um diagnóstico mais preciso do grau de perda e da localização do distúrbio auditiva.

A Academia Americana de Pediatria, juntamente com o Comitê Americano de audição infantil (*Joint Committee on Infant Hearing*, 1994), enfatizam a importância dos métodos fisiológicos na avaliação auditiva infantil por meio de Emissões Acústicas Evocadas (EAO) e Potenciais Evocados Auditivos de Tronco Encefálico (PEATE), por se tratarem de métodos objetivos, rápidos, de fácil aplicação e não-invasivos. [6]

No Brasil, em 2000, com a criação do Comitê Nacional sobre perdas auditivas na infância, pelas Sociedades Brasileiras de Fonoaudiologia, Otorrinolaringologia, Pediatria e

Instituto Nacional de Educação de Surdos, o exame de PEATE passou a fazer parte da bateria de exames auditivos no protocolo de avaliação das perdas auditivas na infância.

Além da importante contribuição na identificação dos limiares eletrofisiológicos, o exame de PEATE faz parte do diagnóstico de disfunções neurológicas, monitoramento de cirurgia intracraniana e cardíaca, estagiamento do coma, em doenças degenerativas que comprometem a função auditiva e no diagnóstico de pessoas que não conseguem responder a um audiometria tonal, como pessoas com síndromes ou deficiências motoras [7].

Atualmente, o PEATE vem sendo empregado como um importante método de avaliação auditiva em todo o mundo, e a realização do exame, bem como a avaliação das ondas de Jewett, depende de um profissional habilitado, que tenha o conhecimento da tecnologia utilizada, dos recursos disponíveis, dos processos envolvidos, dos modelos computacionais adequados e que seja treinado na identificação das principais componentes do sinal resultante da captação por meio de eletrodos fixados na pele.

Diversos estudos vêm sendo realizados com a intenção de tornar o exame de PEATE mais preciso, confiável e eficiente, utilizando técnicas variadas como correlação de dois traçados dos PEATE no domínio do tempo, magnitude quadrática da coerência e análise da distribuição da fase, modelos autorregressivos, filtros adaptativos, redes neurais artificiais, lógica fuzzy e transformada wavelet [8]. Essas pesquisas vêm apresentando resultados satisfatórios, porém pouco utilizados na prática clínica.

Entretanto, as implicações decorrentes da perda auditiva e a utilização do exame de PEATE como uma importante ferramenta para a investigação das vias auditiva, assim como a sua aplicação em diversas áreas da saúde, como neurologia, fonoaudiologia, pediatria, cardiologia e otorrinolaringologia visto a crescente necessidade de um diagnóstico mais preciso, objetivo e rápido, que atendam as exigências profissionais é o que motiva a realização deste trabalho.

1.2 Objetivos da Pesquisa

O presente trabalho possui dois objetivos principais. Na primeira etapa, o objetivo é realizar um estudo comparativo da análise de PEATE realizada por diferentes examinadores,

para a investigação do comportamento do sinal no domínio do tempo e a relação da coerência entre as análises qualitativas fornecidas por diferentes especialistas.

A segunda etapa tem como objetivo a extração das características principais presentes no sinal de Potenciais Evocados Auditivos, através de parâmetros instantâneos, gerados pela Transformada de Hilbert e correlacionar estas características com a identificação das componentes formadas pela série temporal das ondas I, III e V dos PEATE utilizadas durante a avaliação visual.

Esta pesquisa visa também responder aos seguintes questionamentos:

- Os métodos individuais de avaliação das ondas do sinal de PEATE diferem entre os examinadores?
- A diferença entre os examinadores é significativa?
- Existe separabilidade entre as ondas representadas por meio de características instantâneas dos PEATE?
- Existe uma relação entre as características estudadas com a intensidade do estímulo?

O estudo pretende também investigar o estado da arte das principais técnicas de análise das ondas de Jewett dos PEA, e sugerir trabalhos futuros que possam ser desenvolvidos a partir do mesmo.

2 OS POTENCIAIS EVOCADOS

A linguagem é uma das funções biológicas características dos seres humanos [9]. A presença de alterações que afetam a audição humana interferem diretamente no processo cognitivo causando prejuízos sociais, educacionais, e emocionais [10]. Perdas auditivas parciais ou totais podem também afetar a organização neuronal no córtex auditivo [11], e caso essas alterações ocorram na infância, a criança acabará privada de uma estimulação adequada e dificilmente atingirá por completo seu melhor potencial de linguagem. Para que a identificação precoce da perda auditiva ocorra, a utilização de métodos objetivos de avaliação auditiva, como o exame eletrofisiológico de PEATE (Potenciais Evocados Auditivos de Tronco Encefálico) vem sendo empregado, obtendo resultados eficientes que independem da resposta do sujeito avaliado, permitindo a avaliação em pessoas portadoras de deficiências ou síndromes.

Além do diagnóstico precoce de perdas auditivas, os empregos dos PEATE, têm sido utilizado com grande abrangência em neurologia e otoneurologia, para diagnóstico de tumores e comprometimento das vias auditivas.

2.1 O Princípio dos Potenciais Evocados

Por volta da década de 20 do século XX, a neurociência conseguiu determinar que o cérebro humano também apresenta atividade elétrica na forma de ondas oscilantes constantes. Porém em 1929, um neurologista e psiquiatra alemão chamado Hans Berger (1873-1941), que trabalhava na Universidade de Jena, na Alemanha, anunciou a comunidade científica e médica que:

- Era possível registrar as fracas correntes elétricas geradas no cérebro humano, sem a necessidade de abrir o crânio, e mostrá-las na forma de um registro em papel. Berger denominou esta nova forma de registro fisiológico de eletroencefalograma (ou EEG); e observou que existiam dois ritmos dominantes, a que ele designou como ritmos alfa (de 8 a 10 ciclos por segundo) e beta (de 12 a 20 ciclos por segundo);

- Esta atividade mudava de acordo com o estado funcional do cérebro tais como, após estimulações sensoriais, no sono, na anestesia, na hipóxia (falta de oxigênio) e certas doenças nervosas, como na epilepsia.

Essas foram descobertas revolucionárias, e, de fato, Berger, após publicar uma série de 14 artigos entre 1929 e 1938, acabou sendo o honroso fundador de um ramo inteiramente novo e muito importante da ciência médica, a neurofisiologia clínica.

Em 1938, Loomis, Harvey e Hobart estudaram os efeitos da estimulação sensorial no EEG de indivíduos adormecidos e descreveram um padrão especial ao qual chamaram de complexo “K”.

Os potenciais elétricos obtidos em resposta a um estímulo auditivo, foram registrados pela primeira vez em 1939, por Pauline Davis et al. Estas respostas, denominadas na época de “complexo K”, de origem provável no córtex cerebral, eram modificações do traçado do eletroencefalograma, que ocorriam de forma inespecífica na presença de estímulos sensoriais, como a luz e os sons, realizados em sujeitos acordados e dormindo. Essas respostas foram chamadas de potenciais “V”, por serem mais evidentes quando registradas no vertex do crânio.

Em 1945, Lempert et al., durante procedimentos de cirurgias otológicas, conseguiram registrar com eletrodo implantado diretamente na janela redonda os potenciais sensoriais da orelha interna, mas a amplitude reduzida do sinal e o método de sobreposição de imagens fotográficas dificultavam a aplicação clínica.

George Dawson, em 1947, criou a primeira estratégia para o estudo dos potenciais evocados, que consistia em um dispositivo eletromecânico. Este era um rotor que carregava sequencialmente uma série de condensadores. A carga de um condensador aumentava mais rapidamente a cada resposta estimulada do que para a atividade "aleatória" de fundo. Este e outros aparelhos usados inicialmente eram, sobretudo, máquinas aditivas ou de somação, em vez de máquinas de mediação. Porém, devido à baixa taxa de amostragem e, de acordo com o teorema de Nyquist, o sistema de Dawson não conseguia discernir componentes de alta frequência presentes nos sinais de Potenciais Evocados Somatossensoriais de curta latência (*Short-latency Somatosensitive Evoked Potentials* -SSEPs) [12].

Em 1958, Clark idealizou o computador de respostas mediadas (*averager*), sendo responsável pelo grande salto no desenvolvimento da audiometria de respostas elétricas evocadas. Os dados analógicos eram então transformados em informações digitais, podendo ser armazenadas e manipulados no computador.

Posteriormente, Jewett e Williston (1969 a 1971) registraram as respostas neurais em seres humanos, observando que as mesmas se distribuíam em uma série de cinco a sete picos de amplitude ocorrendo durante 7 ms de estimulação. Estes picos foram rotulados por algarismos romanos e relacionados com seus locais de origem.

Embora ainda existam controvérsias sobre o local exato desses sítios de origem, estudos mais recentes indicam como prováveis origens a seguinte descrição: [13] a onda I se relaciona à parte distal do nervo auditivo; a Onda II origina-se na porção proximal do nervo auditivo; a Onda III nos núcleos cocleares; a Onda IV no complexo olivar superior com participação do núcleo coclear e lemnisco lateral. Acreditava-se que a Onda V teria origem no colículo inferior, mas alguns estudos indicam sua origem no lemnisco lateral; outros, sugerem uma interligação entre as ondas IV e V, tendo a última, contribuições tanto do lemnisco lateral como do complexo olivar superior. As Ondas VI e VII originam-se no colículo inferior e no corpo geniculado medial.

A classificação por numerais romanos é utilizada atualmente pelos profissionais para análise dos PEATE, conforme ilustra a Figura 2.

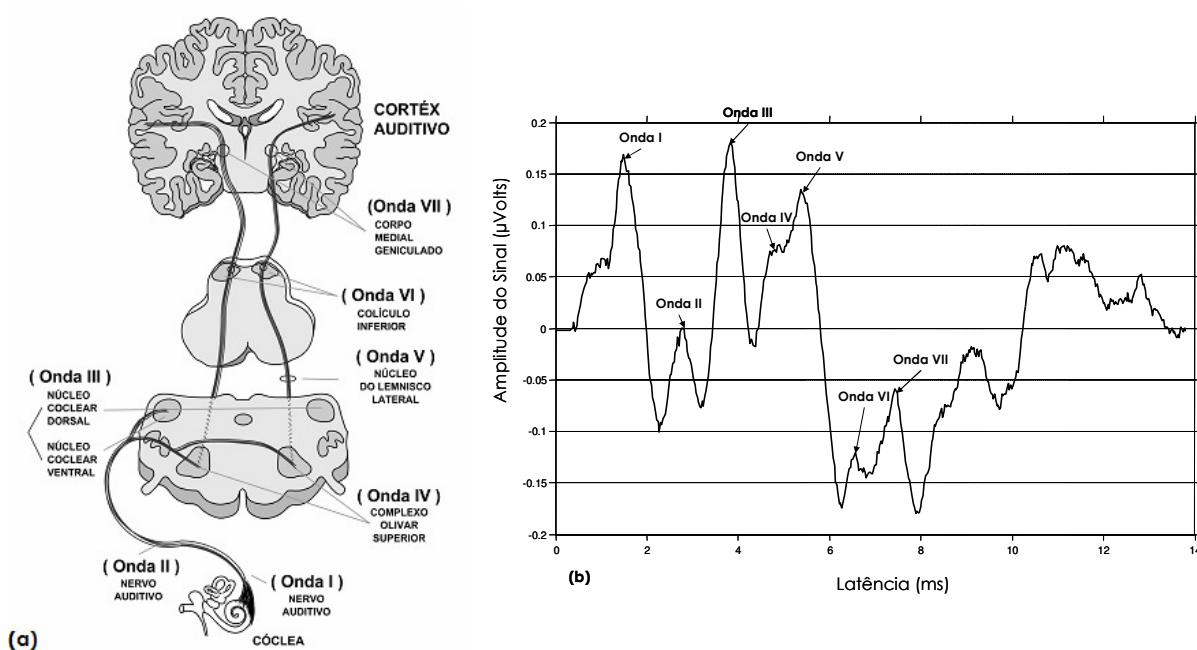


FIGURA 3 - As principais ondas dos PEATE e suas correlações anatômicas. (a) Estruturas anatômicas. (b) Ondas de Jewett com seus picos positivos.

2.2 Classificação dos Potenciais Evocados

A atividade elétrica cerebral classifica-se praticamente em dois tipos [14]: atividade espontânea ou de base. Como atividade espontânea, temos o eletroencefalograma (EEG) que são registros captados por eletrodos na superfície do escalpo onde registram o padrão de atividade cerebral.

A atividade associada a um evento como, por exemplo, um estímulo motor, sensitivo ou cognitivo, é considerada de potenciais evocados.

Os Potenciais Evocados (PE) têm como objetivo principal o estudo da integridade dos caminhos neurofisiológicos percorridos pelas correntes eletroquímicas ao longo de diversos nervos até o cérebro [12]. Estes PE podem ser classificados com base nas características resultantes da aplicação do estímulo apresentado como, por exemplo, o tempo que o estímulo leva para trafegar pela estruturas corticais, ou seja, sua latência, como também podem ser avaliados pela amplitude ou pela frequência do sinal.

Os PE avaliam o funcionamento dos sistemas, visual (Potencial Evocado Visual) [15], auditivo (Potencial Evocado Auditivo), somatossensitivos (Potencial Evocado Somatossensitivos) . São diferenciados com base nos métodos de estimulação e de registro.

2.3 Potenciais Evocados Auditivos

Os potenciais evocados auditivos podem ser classificados utilizando parâmetros como, por exemplo, a região anatômica responsável pela geração dos potenciais elétricos, o tempo de resposta apresentada ou período da latência das ondas e a característica do estímulo apresentado [16]. Atualmente, eles são classificados como sendo: de curta latência que ocorrem em aproximadamente até 50 ms; média latência, que vão de 50 ms a 100 ms; e os de longa latência se apresentam acima de 100 ms. Estes intervalos não são rígidos, podendo variar, e indicam apenas a ordem de grandeza.

A Tabela 2 apresenta um sistema de classificação e descrição para os Potenciais Evocados auditivos.

TABELA 2 - Principais potenciais evocados auditivos com a descrição de suas propriedades [17].

Nome comum	Descrição fisiológica	Fonte anatômica	Período de latência	Variação da latência	Estímulo-resposta	Resposta a eletrodo
Microfonismo coclear (CM)	Receptor	Células ciliadas	Primeiro	0	Mantido	Perto do campo
Potencial de somação (SP)	Receptor	Células ciliadas	Primeiro	0	Mantido	Perto do campo
Potencial de ação (AP), (N1, N2) (ECoG)	Neurogênico	Nervo auditivo	Primeiro	~ 2	Transitório	Campo perto e longe
Resposta auditiva do tronco cerebral (ABR) (I-VII)	Neurogênico	Nervo auditivo Tronco cerebral	Primeiro Rápido	<10	Transitório	Longe do campo
Resposta lenta (SN 10)	Neurogênico	Tronco cerebral	Rápido	~ 10	Transitório	Longe do campo
Frequência seguindo resposta (FFR)	Neurogênico	Tronco cerebral	Rápido	Tone duration	Mantido	Longe do campo
Resposta de latência média (MLR)(No, Po, Na, Pa, Nb, Pb)	Neurogênico	Tálamo Cortex auditivo	Meio	8 a 50	Transitório	Longe do campo
Evento-potencial relacionado (40 Hz)	Neurogênico	Tronco cerebral - Tálamo-Cortex auditivo	Rápido Meio	12 a 50	Transitório Mantido	Longe do campo
Lento-resposta do vértice (SVR) (P1, N1, P2, N2)	Neurogênico	Cortex cerebral (primário e associação)	Lento	50 a 300	Transitório	Longe do campo
Potencial cortical mantido (SCP)	Neurogênico	Cortex cerebral (primário e associação)	Lento	Tone duration	Mantido	Longe do campo
Componente positivo atrasado (P300)	Neurogênico	Cortex cerebral (primário e associação)	Tarde	250 a 350	Perceptual	Longe do campo
Varição cognitiva negativa(CNV)	Neurogênico	Cortex cerebral (associação)	Tarde	300 +	Perceptual	Longe do campo

As seções a seguir descrevem de forma concisa as principais formas de potenciais evocados auditivos, bem como seu tempo de latência, principais características e indicações.

2.3.1 Eletrococleografia

O registro dos potenciais auditivos primários é feito através da Eletrococleografia (EcoChg), que é uma forma de audiometria eletrofisiológica que analisa o receptor periférico da audição, permitindo a observação dos eventos sensoriais e neurais que ocorrem na orelha interna e nervo coclear [18] por meio de fenômenos bioelétricos. Este é considerado um potencial de latência curta, pois aparece antes de cinco (5) ms.

A detecção do sinal é realizada por meio de três eletrodos, sendo dois eletrodos de superfície posicionados nos lóbulos das orelhas ou na mastóide e outro na fronte, além de um eletrodo trans-timpânico ou extra-timpânico.

O resultado obtido no registro pela estimulação apresenta como característica, três fenômenos elétricos característicos, sendo o microfonismo coclear (MC) de origem provável nas células ciliadas externas, o potencial de somação (PS) de origem provável nas células ciliadas e o potencial de ação (PA) de origem provável no nervo auditivo. Na Figura 3 temos a forma como são representados graficamente estes eventos.

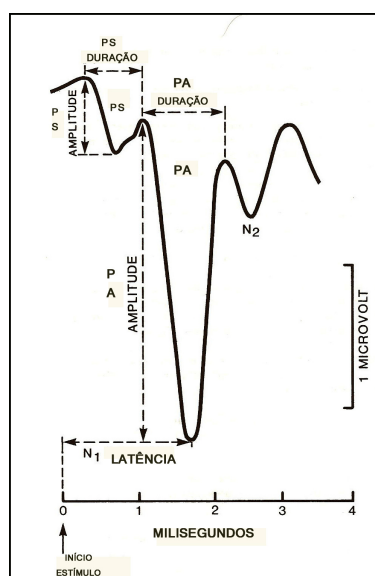


FIGURA 4 - Potencial de somação e de ação do nervo coclear [18].

As formas das ondas modificam-se de acordo com a intensidade do estímulo apresentado, e a amplitude da onda diminui à medida que a intensidade do estímulo decresce.

Em pessoas com a audição normal, quando o estímulo é aplicado em alta intensidade, a resposta tem característica afilada e com amplitude elevada. Já para médias intensidades a resposta é mais larga e com menor amplitude, e em pequenas intensidades ela é larga, ou seja, a sua latência aumenta e a amplitude é baixa [7].

A Ecochg é indicada para avaliação objetiva dos limiares auditivos e para auxílio de diagnósticos em doença de Menière, labirintopatia metabólica, otospongiose coclear e no schwanoma vestibular.

2.3.2 Potenciais evocados de tronco Encefálico

O potencial evocado auditivo de curta latência é comumente referenciado por audiometria de respostas elétricas cerebrais, potenciais evocados auditivos de tronco encefálico (PEATE) ou potenciais evocados auditivos de tronco cerebral (PEATC), que também recebem as seguintes denominações em inglês: Bera (Brainstem Evoked Response Audiometry), BSER (Brainstem Evoked Response), BAER (Brainstem Auditory Evoked Response) e ABR (Auditory Brainstem Response).

Estes PEATE ocorrem aproximadamente até 10 ms após a deflagração do estímulo, tempo que leva para percorrer as estruturas envolvidas na propagação do som.

Os PEATE constituem respostas elétricas do nervo auditivo, tronco encefálico, córtex auditivo primário e do tálamo e surgem da exposição unilateral a um determinado estímulo auditivo que pode ser: Clique, “tone burst”, “tone pip” e frequência filtrada.

Os principais componentes gerados pela estimulação são as ondas [13]: I, II, III, IV, V, VI e VII, que são evidenciadas a partir do processo de promediação ou média dos sinais. As ondas mais representativas de valor clínico são as ondas I, III e V visto na Figura 2.

A avaliação das ondas é feita com base na medição dos padrões de normalidade das latências (L) e dos intervalos interpicos entre as ondas I-III, III-V e I-V. Este processo será descrito com mais detalhes no Capítulo 3.

2.3.3 Potenciais evocados de média latência

Os Potenciais Evocados Auditivos de Média Latência (PEAML) são utilizados na avaliação da sensibilidade auditiva e na pesquisa da integridade da função auditiva central. Atualmente, a análise destes potenciais tem mostrado ser de grande valia na avaliação de disfunções do Sistema Nervoso Auditivo Central (SNAC) [19]. Os PEAML, são compostos por uma sequência de ondas com latências aproximadas de 10 a 80 ms após o início do estímulo auditivo, com origem neurogênica múltipla (projeções tálamo-cortical e córtex auditivo, colículo inferior e formação reticular em menor escala), e geralmente representados pelas letras Po, Na, Pa, Nb, Pb e Nc [20].

2.3.4 Potenciais evocados de latência tardia

Os Potencias Evocados de Longa Latência (P300), são considerados como tendo características cognitivas ou endógenas, por estarem associados à necessidade da colaboração por parte do indivíduo avaliado no que diz respeito à atenção ao estímulo apresentado.

Normalmente, o P300 é obtido utilizando-se o paradigma do alvo (*oddball paradigm*), onde são apresentados dois estímulos randomizados e um dos estímulos ocorre com maior frequência que o outro. O P300 é eliciado em num paradigma em que um estímulo raro ocorre entre a apresentação do estímulo freqüente, e o indivíduo deve contar o número de vezes em que o estímulo raro aparece [21].

2.4 Conclusão

Neste capítulo, foi abordada a motivação para o desenvolvimento do trabalho, a definição dos principais objetivos do mesmo, bem como uma breve explicação sobre o desenvolvimento e a classificação dos potenciais evocados auditivos para melhor compreensão dos capítulos seguintes.

No próximo capítulo serão descritos com detalhes a geração e a gravação dos sinais de PEATE.

3 O SISTEMA AUDITIVO

O ouvido humano é um extraordinário e complexo órgão sensorial que fascina pela sua capacidade de integrar diversos tipos de frequências e intensidades de sons tanto de forma isolada, como, por exemplo, os movimentos brownianos das partículas de ar na membrana timpânica, como a capacidade de discernir as diferenças de uma diversidade sonora como os sons de uma orquestra sinfônica [22]. Segundo Zemlin (2000), o ouvido humano tem o poder de detectar pelo menos 1000 diferentes tons sonoros e, em frequências inferiores a 1.000 Hz, pode detectar mudanças de apenas 3 Hz, além de poder detectar mais de 250 níveis de intensidade. E dentro da faixa dinâmica de audição o número de diferenças perceptíveis chega a quase um quarto de milhão [22] .

O ouvido comporta dois sistemas fundamentais para o desenvolvimento humano, que são: o sistema auditivo e o sistema vestibular [23]. O sistema vestibular está relacionado a manutenção da estabilidade de nosso corpo para as diversas situações do cotidiano e o sistema auditivo está relacionado ao processo de aprendizado relacionados a linguagem e escrita, além das funções naturais de proteção.

O sistema auditivo pode ser dividido didaticamente em: orelhas externa, média e interna, como mostra a Figura 4.

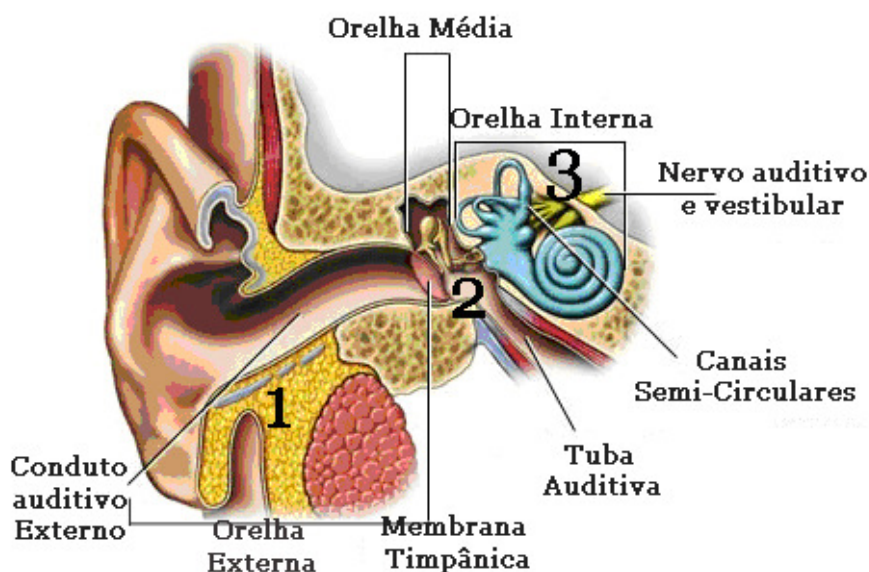


FIGURA 5 - Orelhas externa (1), média (2) e interna (3) [24]

A orelha externa (Figura 4 (1)) é formada pelo Pavilhão auricular (Pina), Meato acústico externo (conduto auditivo) e Membrana timpânica e está relacionado com a proteção e com a absorção e transformação da energia das ondas acústicas em energia mecânica vibratória. A orelha média (cavidade timpânica) é formada pela camada interna da membrana timpânica, sistema ossicular (martelo, bigorna e estribo) com seus músculos, ligamentos e articulações, e tuba auditiva, e conduz o som pela orelha média até a cóclea. A orelha média é responsável pelo efeito alavanca que aumenta a pressão em 22 vezes nos líquidos da cóclea, ou seja, fornece a equalização da impedância entre as ondas sonoras no ar e as vibrações sonoras no líquido da cóclea, além de proteger a orelha interna pela atenuação do som pela contração dos músculos estapédio e tensor do tímpano. A orelha interna é formada pela cóclea, vestíbulo e canais semicirculares. Estas estruturas estão relacionadas ao equilíbrio corporal, propagação sonora e transformação da energia vibratória em impulsos nervosos [22, 23, 25].

Este capítulo fará uma breve explanação sobre a fisiologia do sistema auditivo (SA) e as bases fisiológicas para a condução do impulso sonoro até o córtex. Este funcionamento básico do SA com suas principais características permitirá a compreensão dos princípios de geração e medição dos PEATE.

3.1 Bases Neurofisiológicas da Audição

O sistema auditivo que engloba desde a orelha externa até as conexões que ocorrem no sistema nervoso central, tem suas estruturas relacionadas aos processos de captação, condução e transformação do estímulo sonoro hidráulico-mecânico, em estímulo elétrico, que é conduzido através do tronco-encefálico até o córtex auditivo por impulso nervoso.

De acordo com Gelfand (1990), o movimento do estribo na janela oval faz com que haja movimento dos líquidos da orelha interna, e, conseqüentemente, de suas estruturas. Estes movimentos estimulam as células internas da orelha interna e evocam uma descarga neural. Assim, ocorre a transformação da energia mecânica em informação neural [23], como ilustra a Figura 5.

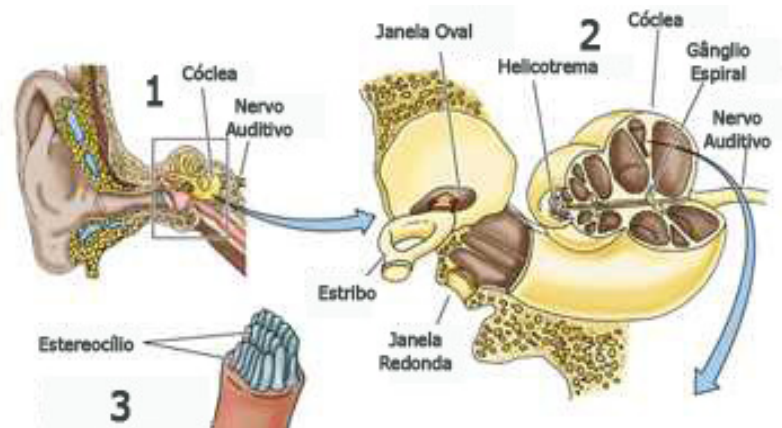


FIGURA 6 - Sequência do movimento do estribo na janela oval. (1) orelha média, cóclea e nervo auditivo. (2) Estribo na janela oval e cóclea. (3) Estereocílios. Adaptada de [25].

3.1.1 A Cóclea

A cóclea é a parte mais medial do labirinto ósseo e trata-se de um canal ósseo de 35 mm de comprimento, enrolado sobre si mesmo (2 voltas e 3/4) e em torno de um núcleo central chamado modíolo [22]. Esta estrutura fortemente protegida pela porção petrosa do osso temporal, abriga o órgão responsável pela audição, o órgão espiral ou órgão de Corti, como visto na Figura 6.

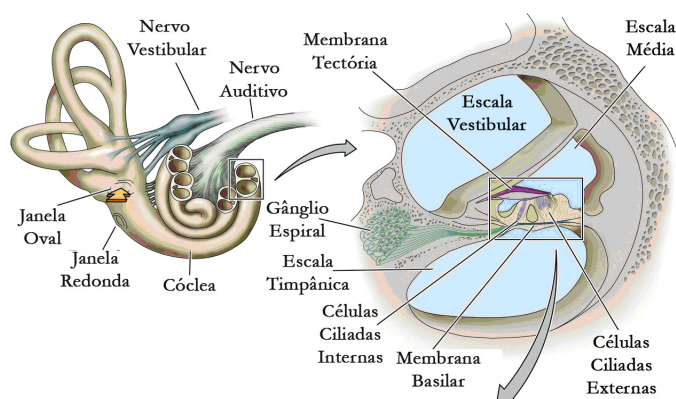


FIGURA 7 - Labirinto membranoso com a Cóclea e a imagem ao lado ampliada revela o Órgão de Corti, com as estruturas envolvidas na audição. No quadrado menor, as células ciliadas externas e as células ciliadas internas [26].

O Órgão de Corti contém as células sensoriais (receptoras) essenciais para a audição, que são as células ciliadas externas (CCE) e as células ciliadas internas (CCI) como mostra a Figura 7.

As células ciliadas externas são cilíndricas e constituem cerca de 13.500 células, e estão dispostas em três fileiras. As células ciliadas internas são em forma de bulbo e têm cerca de 3.500 células, organizadas em uma única fileira (Figuras 5 e 7) [25] .

As células ciliadas apresentam diferenças significativas relacionadas ao mecanismo de funcionamento. Nas CCI, além de menor número de células, cada CCI possui na face superior, cerca de 40 estereocílios que se dispõem em uma fileira em forma de "U" . Nas CCE, o número de estereocílios é de aproximadamente 150, que formam três fileiras em forma de "W" [23].

A fileira mais alta dos estereocílios das CCE está em contato direto com a membrana tectória. Quando ocorre a movimentação dos líquidos da cóclea pela movimentação do estribo na janela oval a membrana basilar se movimenta e causa a deflexão dos estereocílios das células ciliadas como mostra a Figura 7.

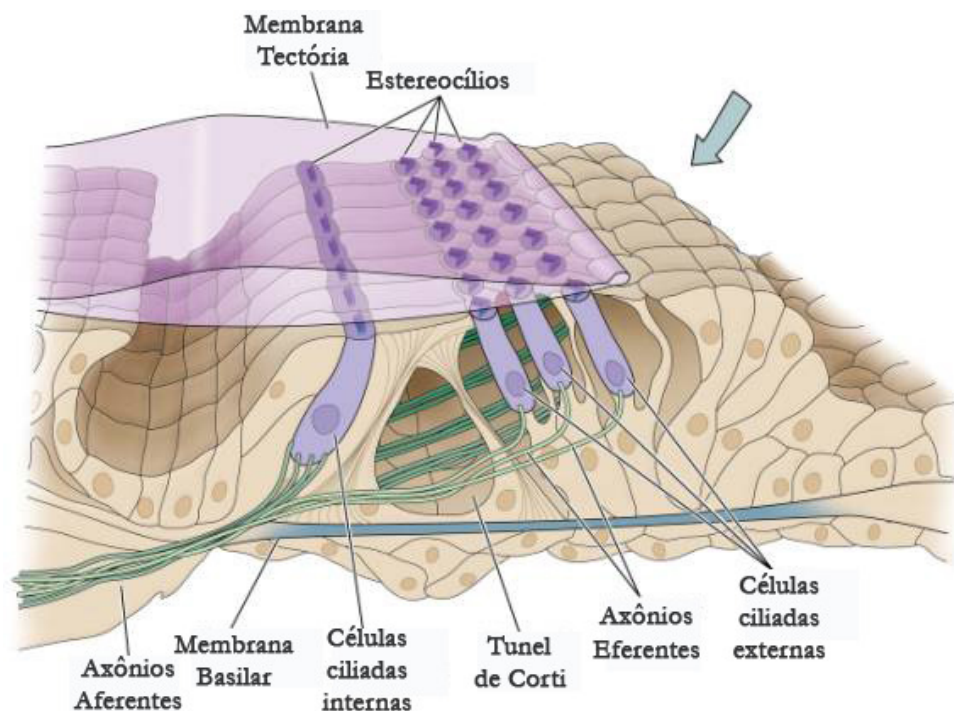


FIGURA 8 - Órgão de Corti, com as camadas de células ciliadas internas e externas, estereocílios e membrana tectória e os axônios aferentes e eferentes. Adaptada de [27].

A vibração que ocorre ao longo do comprimento da membrana basilar se atribui às propriedades físicas, como elasticidade, rigidez e massa, e alteram ao longo da membrana. Ela é mais estreita na base junto ao estribo e vai se alargando no sentido do ápice da cóclea, fazendo com que a vibração seja maior ou menor ao longo de seu comprimento [28]. De acordo com Oliveira (1997), a onda que se forma pela vibração da membrana basilar tem um ponto de deflexão máxima, que está relacionada à frequência ressonante natural para a frequência ressonante correspondente ao estímulo sonoro. As frequências percebidas pelo ouvido humano variam em frequência de 15 ou 16 Hz a cerca de 20.000 Hz [23]. A cóclea se organiza de forma tonotópica, sendo que na base, estão as frequências altas e no ápice as frequências baixas conforme ilustra a Figura 8. Estas percepções de frequência e intensidade podem variar por diversos fatores, como a idade, a exposição prolongada a níveis elevados de pressão sonora e sensibilidade individual.

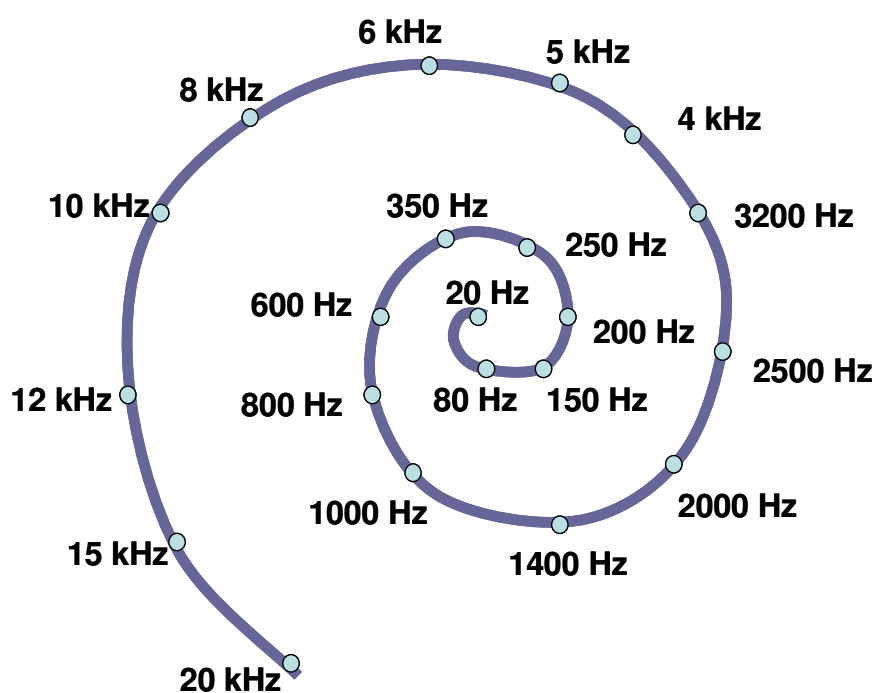


FIGURA 9 - Representação da distribuição das frequências ao longo da membrana basilar [22].

É nos estereocílios que se inicia o processo de transdução do som através da mudança de potenciais que são transmitidos ao nervo auditivo. De acordo com Zemlin (2000), a deformação dos estereocílios resulta em uma mudança no potencial elétrico das células ciliadas [22]. Essa deformação é causada pela troca de íons. Quando a célula é excitada, a membrana se abre permitindo uma rápida troca de íons, e a superfície da célula se despolariza, e sua carga passa de -70 mV para cerca de +40 mV, dando início ao impulso nervoso.

Após a despolarização, a membrana celular começa a se restaurar por meio da bomba de sódio-potássio que é movimentada pelo trifosfato de adenosina (ATP) e em apenas alguns milissegundos consegue outra despolarização ou disparo, podendo a repolarização levar apenas 0,5 ms, sendo possível que eventos neurais discretos ocorram 2.000 vezes por segundo durante um intervalo bastante curto como mostra a Figura 9.

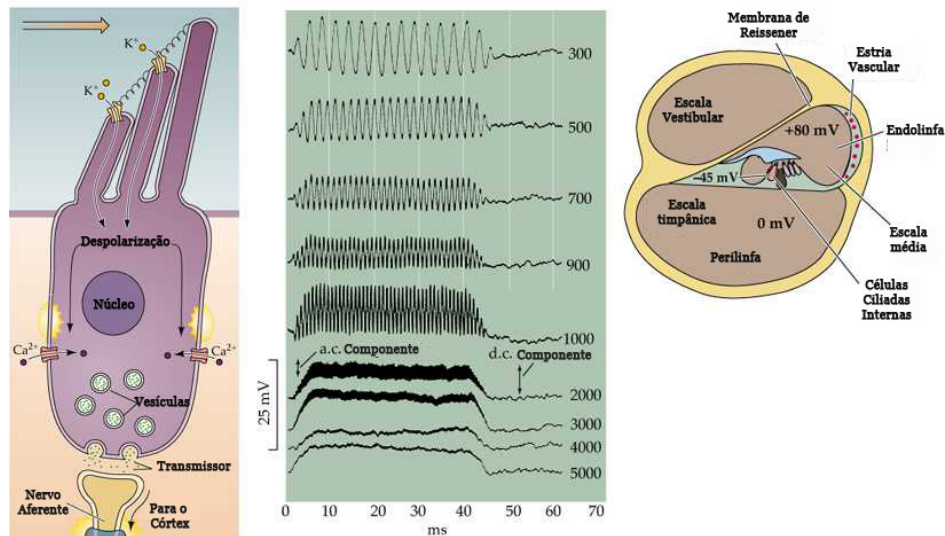


FIGURA 9 - Processo de despolarização de uma célula ciliada e ao lado o gráfico mostra a frequência de disparos [23].

É a movimentação dos estereocílios que dá início ao processo de transdução do som, através da mudança de potenciais transmitidos para o nervo auditivo. De forma geral, a cóclea é responsável por transformar a energia mecânica em potencial de ação, através da sua interação com o nervo auditivo.

3.1.2 O Nervo Auditivo

A transmissão que ocorre entre o órgão receptor periférico o ouvido, a cóclea e o órgão central, o cérebro, é realizada por meio do nervo auditivo ou oitavo nervo craniano [25].

O nervo auditivo ou nervo coclear é formado por axônios das células do gânglio espiral e tem aproximadamente 23.000 a 40.000 fibras, mantendo a organização tonotópica iniciada na cóclea. Suas fibras mais periféricas são responsáveis pelas frequências altas, que vem da base da cóclea e as fibras centrais correspondem as frequências baixas provenientes do ápice da cóclea [29].

Munhoz (2000) [29] relata que a capacidade de transmissão de cada fibra nervosa é relativamente baixa, onde o potencial de ação do nervo auditivo representa a soma das atividades elétricas de um grande número de fibras. Segundo Zemlin (2000) [22] se tentarmos determinar o limiar de resposta de uma unidade neural isolada ao longo da faixa de frequências, descobriremos que cada neurônio examinado responde melhor a uma frequência específica. De acordo com Yost e Nielsen (1985), uma única unidade neural com uma frequência característica abaixo de 1000 Hz tem uma descarga por ciclo e, além disso, os picos nervosos parecem ter uma certa relação de fase constante com o estímulo, como mostra a Figura 10.

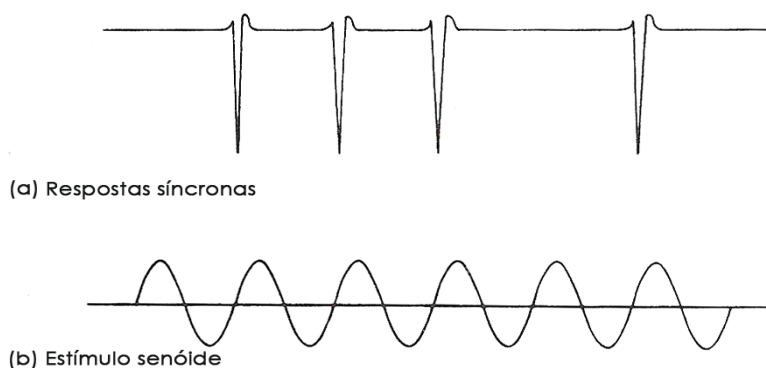


FIGURA 10 - Resposta da atividade neural de uma fibra do nervo auditivo por estimulação a uma onda sonora senoidal. Na parte (a) o registro da atividade neural e na parte (b) o estímulo senoidal. Fonte [22].

O nervo auditivo é formado por basicamente dois tipos de fibras nervosas: aferentes e eferentes.

A inervação aferente é feita por neurônios do tipo I e neurônios do tipo II. Os neurônios do tipo I se originam do gânglio espiral, são bipolares e mielinizados e constituem 95% dos neurônios aferentes e inervam as células ciliadas internas (CCI). Os neurônios do

tipo II formam os 5% restantes, são monopolares e não-mielinizados e inervam as células ciliadas externas (CCE).

Cada neurônio do tipo I inerva uma CCI, e cada célula é inervada por cerca de oito neurônios, permitindo assim uma representação ponto a ponto no núcleo coclear. Essa organização tonotopográfica constitui um sistema sensorial dependente da frequência.

Os neurônios do tipo II que inervam exclusivamente as CCE e se distribuem de forma que cada fibra espiral externa se ramifica em colaterais secundários e terciários que se dirigem para a base de aproximadamente dez CCE, como mostra na Figura 11.

Desta forma, as CCE são inervadas pelos colaterais de vários feixes, caracterizando assim um padrão difuso de inervação quando comparado com os das CCI.

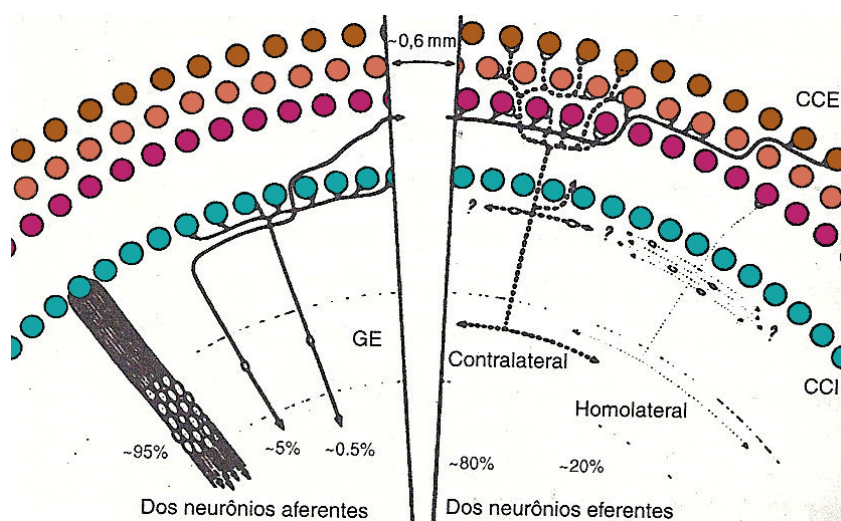


FIGURA 11 - Disposição das fibras dos neurônios aferentes e eferentes e a inervação das CCI e CCE [22].

A função do nervo auditivo aferente é de conduzir o código neural produzido pela cóclea a partir do estímulo sonoro até o cérebro [23], sendo que as CCI que deflagram a resposta neural do processo auditivo. O potencial é propagado pelas fibras até a *habenula perforata*, onde as fibras começam a apresentar mielina. As descargas neurais então são produzidas e seguem por todo o nervo auditivo até o núcleo coclear no tronco auditivo encefálico. As fibras do nervo auditivo que deixam a cóclea são conhecidas como neurônios de primeira ordem. As fibras que deixam o núcleo coclear são conhecidas como neurônios de

segunda ordem e assim por diante até o córtex auditivo [23, 29]. A Figura 12 ilustra o caminho percorrido pelo estímulo auditivo até o córtex.

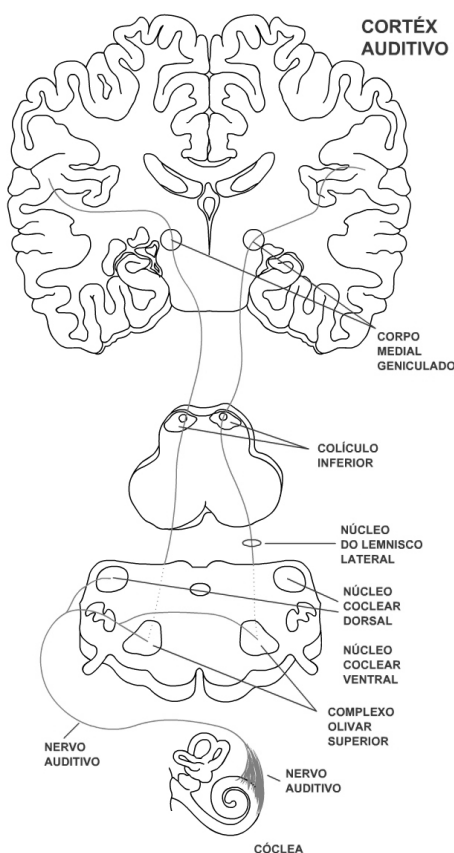


FIGURA 12 - Fibras do nervo auditivo, saindo da cóclea e percorrendo as conexões até o córtex auditivo.

A inervação eferente é feita por cerca de 1800 fibras nervosas eferentes (centrífugas) que constituem o feixe olivococlear que vai do complexo olivar superior no tronco encefálico até as células ciliadas. Aproximadamente 80% dessas fibras se originam no complexo olivar superior contralateral (fibras cruzadas), enquanto que 20%, no complexo olivar superior ipsilateral (fibras não-cruzadas). As fibras eferentes cruzadas ramificam-se pelo túnel de Corti e formam as **fibras radiais do túnel** e inervam as CCE, enquanto que as fibras do feixe não-cruzadas formam o **feixe espiral interno** e inervam todas as 3.500 CCI [22, 25].

A inervação eferente pelo feixe olivococlear está relacionada a diminuição da taxa de descarga de unidades neurais eferentes. Porém, a natureza exata da função do sistema eferente não é conhecida, mas são atribuídos a ele os efeitos inibitórios no nervo auditivo [22]. Acredita-se que o sistema eferente, por meio do trato olivococlear medial, module os movimentos das CCE pela liberação de acetilcolina; este mecanismo tem a finalidade de

manter a membrana basilar em posição adequada para a transdução fiel das características do estímulo auditivo [30].

3.3 Conclusão

Este capítulo apresentou, de forma sintética, as principais estruturas do SA, responsáveis pelo processo auditivo. Foi apresentada a orelha interna, parte sensorial da audição onde através dos potenciais cocleares, gerados pela estimulação auditiva, causam a deflexão dos estereocílios das células ciliadas e desencadeiam o potencial elétrico nas fibras do nervo auditivo, que chegam ao córtex através do tronco encefálico. Foram abordadas as estruturas envolvidas no processo de transmissão do impulso nervoso, como as fibras do nervo auditivo onde são geradas as sinapses que formam a resposta dos PEATE. Essa descrição facilita o entendimento das componentes envolvidas no processo de geração do sinal estudado.

Na sequência, no Capítulo 3 será apresentado o protocolo utilizado para a extração dos PEATE nesse estudo. Os critérios utilizados e configurações do equipamento (sistema de aquisição, estimulação e coleta) serão também abordados.

4 PARÂMETROS PARA O EXAME DE PEATE

A coleta dos registros dos PEATE é realizada por meio de eletrodos fixados na superfície da pele do paciente, onde é coletada a resposta dos potenciais da fibra nervosa. Esse registro permite avaliar de forma funcional a integridade das estruturas envolvidas no processo de transmissão do som até o córtex [5].

Entretanto, para que o resultado obtido seja preciso, algumas considerações sobre os parâmetros de estimulação, gravação do sinal, preparo do paciente e seleção de eletrodos devem ser consideradas[13].

Atualmente, não contamos com uma configuração padrão dos parâmetros utilizados nos equipamentos a serem adotados pelos laboratórios, o que nos remete a necessidade de padronizar e uniformizar os critérios para a gravação de PEATE, como também a interpretação do registro realizada pelos examinadores.

O presente capítulo apresenta a seguir, algumas considerações sobre o registro e o processo de aquisição dos sinais de PEATE. Os parâmetros de registro e configuração foram divididos em quatro tópicos distintos: considerações sobre o paciente, instrumentação, processo de gravação e análise dos resultados.

4.1 Considerações sobre o paciente

Os PEATE são melhor obtidos quando o paciente está relaxado ou com atividade cerebral baixa (dormindo), pois ruídos de fundo provenientes de atividade cerebral elevada podem causar artefatos que interferem na coleta de PEATE.

Outros artefatos podem estar relacionados à movimentação muscular, do pescoço, cabeça, mandíbula, língua e olhos [5, 12, 16, 31]. Hood (1988) [13] relata que algumas pessoas, com olhos fechados, podem apresentar nistágmo espontâneo (movimentos reflexos dos olhos) e produzir artefatos provenientes dos movimentos dos olhos. Em função dessas possíveis interferências, o paciente deverá ser orientado e preparado, sendo posicionado de