

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

Marilda Machado Spindola

**HABILIDADE COGNITIVA ESPACIAL:  
medida com eletroencefalografia**

Porto Alegre  
2010

Marilda Machado Spindola

**HABILIDADE COGNITIVA ESPACIAL:  
medida com eletroencefalografia**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Informática na Educação.

Orientador:

Prof. Dr. Milton Antonio Zaro

Coorientadora:

Profa. Dra. Maria Isabel Timm

Linha de Pesquisa: Paradigmas Para a Pesquisa Sobre o Ensino Científico e Tecnológico

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. José Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Aldo Bolten Lucion

Diretor do CINTED: Profa. Rosa Maria Vicari

Coordenador do PPGIE: Prof. José Valdeni de Lima

## DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

---

S757h Spindola, Marilda Machado

Habilidade cognitiva espacial: medida com eletroencefalografia / Marilda Machado Spindola; orientador: Milton Antonio Zaro; coorientadora: Maria Isabel Timm. Porto Alegre, 2010.

155 f.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação. Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, 2010, Porto Alegre, BR-RS.

1. Ciência cognitiva. 2. Neurociência. 3. Eletroencefalografia. 4. Inteligência. 5. Percepção do espaço. 6. Ambiente de aprendizagem. 7. Ambiente virtual. 8. Gardner, Howard. 9. Sternberg, Robert J. 9. Pinker, Steven. I. Zaro, Milton Antonio. II. Timm, Maria Isabel. III. Título.

CDU – 371.694.3:159.922

Marilda Machado Spindola

**HABILIDADE COGNITIVA ESPACIAL:  
medida com eletroencefalografia**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Informática na Educação.

Aprovado em 09 de abril de 2010.

---

Prof. Dr. Milton Antonia Zaro – Orientador

---

Profa. Dra. Maria Isabel Timm – Coorientadora

---

Prof. Dr. Dante Barone – UFRGS

---

Prof. Dr. Maria Paz Loayza Hidalgo – UFRGS

---

Prof. Dr. Alcyr Alves de Oliveira Jr – UFCSPA

---

Dedico esta tese aos meus queridos  
filhos Marcello e Marianna,  
para seus cérebros.

Aos meus pais  
Agnaldo e Leoni,  
com carinho.

E como um presente  
aos estimados professores  
Milton Zaro  
e Maria Isabel Timm  
por desencadarem o processo ...

## AGRADECIMENTOS

Ao querido professor Dr Milton Zaro, um cérebro iluminado, pelo seu incentivo, motivação, entusiasmo e confiança no desenvolvimento deste trabalho, além do importante papel de orientador.

A professora Dra Maria Isabel Timm, coorientadora, amiga, incentivadora e com cérebro de engenheiro, capaz de fazer o limite e dimensionar o objetivo. Agradeço por muitas linhas e idéias, pelo esforço da co-orientação e pelas dicas teóricas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul que aceitou a proposta desta tese.

A Universidade de Caxias do Sul – UCS, pelo professor Odacir Graciolli, pela aprovação, institucionalização e forte apoio neste projeto. Os resultados desta tese também somam esforços de muitos pesquisadores da Universidade de Caxias do Sul, UCS\_CARVI, em especial os professores Luciano Massoco e Alexandre Mesquita, pelo projeto da Gaiola de Faraday. Também a importantíssima colaboração do professor Alexandre Balbinot no projeto do eletroencefalógrafo, além da colaboração inestimável dos alunos do curso de Engenharia Elétrica e bolsistas do Laboratório de Biosinais, Michel Carra, Patric Marques, Giovanni Carra e Luciano Salerno. Agradeço também aos professores e colegas Gladis F. Cunha, Marcelo Michelin, Ricardo Balbinot, Ricardo Becker e Adriana Adami pelo convívio e grandes contribuições no Núcleo de Pesquisa NP\_EngBIO.

A empresa INTRAL S.A. e ao professor Marcelo Toss, pela doação do material aço-silício para a construção da Gaiola de Faraday.

Aos professores Alcyr de Oliveira, Dante Barone e Alberto Rasia pelas contribuições sensatas e precisas na Banca de Qualificação. E novamente ao professor Alcyr pela parceria com a Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre – UFCSPA – através de projetos de pesquisa. Também saliento a contribuição do professor Dante Barone na formação da pesquisa conjunta com a UFRGS.

Por fim um agradecimento especial a professora Carla Tem Caten pela importante contribuição na metodologia aplicada, a Dra Elnora Paiva e a colega Ana Clara Bonnini pela técnica eletroencefalográfica e ao professor da UCS, Dr Lucas F. de Oliveira pelas excelentes orientações na modelagem do experimento. Também devo agradecer a querida amiga e

psicóloga Renata Cimadon por aceitar o desafio de fazer pesquisa, e com muito carinho, especial agradecimento a professora e colega Cintia Paese pelo apoio estatístico.

## RESUMO

A tese apresenta uma contribuição à área da pesquisa educacional, para auxiliar na identificação de perfis cognitivos, utilizando o referencial teórico das Ciências Cognitivas e a instrumentação das Neurociências. O projeto elaborado para atender os objetivos desta tese compreendeu o desenvolvimento de metodologia experimental, apoiada pela técnica estatística de Projetos de Experimentos, juntamente com instrumentos neurocientíficos (uso de eletroencefalografia com técnica ERP – *Event Related Potential*), para a observação, quantificação e interpretação de evidências neuronais – sinais de eletroencefalografia – relacionadas ao processo cognitivo humano. Buscou, em particular, evidências relacionadas às diferentes demandas de energia despendida na realização de atividades espaciais (identificação, percepção ou atenção espacial de objetos virtuais), com base em instrumentos teóricos e tecnológicos das Neurociências, das Ciências Cognitivas e da Psicologia Cognitiva, para uso na área da pesquisa educacional, visando contribuir para identificação de diferentes perfis de estudantes em diferentes áreas do conhecimento. Na investigação experimental, o objetivo foi buscar indicadores (quantificação de energia alocada em atividade cerebral, medida de tempo de resposta ao estímulo, maior magnitude na faixa de frequência do ritmo elétrico cerebral, evocados no experimento) dos sinais cerebrais que estejam sincronizados com o exercício proposto e que possam subsidiar a hipótese de que *há diferenças significativas entre estudantes de áreas científicas e tecnológicas e estudantes de áreas humanas e sociais, no quesito habilidades espaciais*. A proposta contextualiza e fundamenta experimentos com um grupo de alunos voluntários dos cursos de graduação, selecionados para a pesquisa, classificados por idade e sexo e avaliados e selecionados por diagnóstico psicológico indicativo da provável área de aptidão/habilidade cognitiva. O desenvolvimento da proposta investigativa, que visou atender os objetivos relacionados e pertinentes ao processo, foi possível devido a esforços de pesquisadores e cientistas das diferentes áreas de conhecimento, que colaboraram na modelagem do experimento realizado no Laboratório de Biosinais da Universidade de Caxias do Sul, no Campus Universitário da Região dos Vinhedos, junto ao Curso de Engenharia Elétrica. Como parte do processo metodológico experimental está compreendido o desenvolvimento do instrumento de medição: equipamento de eletroencefalografia (EEG) utilizando o sistema de aquisição e conversão de sinal analógico-digital da *National Instruments* e também, o equipamento conhecido como Gaiola de Faraday, que serviu para a realização das coletas de sinais elétricos cerebrais de baixa frequência e amplitude, minimizando a presença de ruídos eletromagnéticos interferentes significativamente no sinal coletado. Os dados (sinais elétricos cerebrais) coletados durante o experimento que evocou raciocínio lógico espacial dos participantes foram modelados matematicamente por Fourier e interpretados por análise estatística – UNIVARIATE (análise de variância) e comparados aos resultados obtidos pelos instrumentos de apoio utilizados como forma de validar o processo investigativo: questionário verbal ao final do experimento e teste psicológico - subteste BPR5 – RE. Todos os dados coletados também foram armazenados com o propósito de permitir futura realização de outras simulações, com diferentes métodos de acesso aos conteúdos. Entende-se que os resultados obtidos nesse experimento possam colaborar com a Informática aplicada à Educação no planejamento, desenvolvimento e uso de objetos virtuais em ambientes destinados a mediar a aprendizagem, de acordo com necessidades específicas de cada público-alvo. Nesse sentido, os resultados dessa investigação podem prover dados ou características como medidas indicadoras de esforços cognitivos associados a perfis diferenciados, no caso das áreas de conhecimento, que envolvam processos de raciocínio espacial. O entendimento sobre o esforço manifestado pelo aluno durante o experimento foi interpretado como uma possível medida de um dos itens

relacionados ao perfil cognitivo, à luz das Ciências Cognitivas (GARDNER, 1994, 2001), (STERNBERG, 2000), (PINKER, 1998).

Palavras-Chave: Ciência cognitiva. Neurociência. Eletroencefalografia. Inteligência. Percepção do espaço. Ambiente de aprendizagem. Ambiente virtual. Gardner, Howard. Sternberg, Robert J. Pinker, Steven.

## ABSTRACT

The thesis is to contribute for the area of educational research in order to aid on the identification of cognitive profiles, using theoretical references from cognitive sciences and instrumentation from neurosciences. The project designed to meet the objectives of the thesis included the development of experimental methodology, supported by the statistical technique for Experiment Projects, along with neuroscientific instruments (use of electroencephalography with the ERP technique – *Event Related Potential*), for the observation, quantification, and interpretation of neuronal evidences – electroencephalography signals – related to the human cognitive process. It particularly searched for evidences related to different demands of energy spent to perform spatial activities (identification, perception, or spatial attention of virtual objects), based on theoretical and technological instruments of Neurosciences, Cognitive Sciences and Cognitive Psychology, used in the field of educational research, with the aim to contribute for the identification of different profiles of students in different areas of knowledge. In the experimental investigation, the purpose was to look for indicators (quantification of energy allocated in brain activity, measuring response time to the stimulus, larger magnitude in the frequency band of the brain electrical rhythm, evoked on the experiment) of the brain signals that would be synchronized with the exercise proposed and that could subsidize the hypothesis that *there are significant differences between students from scientific and technological fields and students from humanistic and social fields, regarding spatial abilities*. The proposal contextualizes and fundamentals experiments with a group of volunteer students from the undergraduate programs, selected for the research, classified by age and gender, and evaluated and selected according to a psychological diagnostic indicating a probable area of cognitive ability / aptitude. The development of the investigative proposal that intended to meet the objectives mentioned was possible thanks to efforts of a group of researchers and scientists from different fields of knowledge, pertinent to the process, who collaborated on the modeling of the experiment, carried out at the Biosignal Laboratory of the University of Caxias do Sul, at the University Campus of *Região dos Vinhedos*, in its Electrical Engineering Program. The development of the measuring instrument was part of the experimental methodological process: the equipment for electroencephalography (EEG) using the system acquisition and conversion of analog to digital signal (manufacturer: *National Instruments*) and also the equipment known as Faraday's Cage, which served to the collections of electrical brain signals of low frequency and amplitude, minimizing the presence of electromagnetic noises interfering significantly on the signal collected. The data collected (brain electrical signals) during the experiment that evoked logical spatial reasoning by the participants were mathematically modeled by Fourier and interpreted by statistical analysis – UNIVARIATE (variance analysis) and compared to results obtained by support instruments used as a way of validating the investigative process: a verbal questionnaire at the end of the experiment and a psychological test – subtest BPR5 – RE. All data collected were also saved with the purpose of making it possible to carry out other simulations in the future, with different access methods to the contents. It is understood that the results obtained with this experiment collaborate Informatics applied to Education on planning, developing, and using virtual objects in environments destined to mediate learning according to specific needs of each target public. In that sense, the results of this investigation may provide data or characteristics as measures indicating cognitive efforts associated to differentiated profiles, which are in this case the knowledge fields involving spatial reasoning processes. Understanding the effort manifested by the student during the experiment was interpreted as a

possible measure for one of the items related to the cognitive profile, the light of Cognitive Sciences (GARDNER, 1994, 2001), (STERNBERG, 2000), (PINKER, 1998).

Keywords: Cognitive science. Neuroscience. Electroencephalography. Intelligence. Perception of space. Learning environment. Virtual environment. Gardner, Howard. Sternberg, Robert J. Pinker, Steven.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sistema Internacional 10-20 visto pelo lado esquerdo (A) e de topo (B).....	40
Figura 2- Esquema do Canal do EEG desenvolvido no Laboratório de Biosinais UCS .....	41
Figura 3 - Interface gráfica para visualização e programação no LabVIEW v8.0.....	42
Figura 4 - Ambiente com conceito de Gaiola de Faraday desenvolvido no Laboratório de Biosinais UCS_CARVI.....	43
Figura 5 – Tipos de figuras do experimento .....	48
Figura 6 – Par de figuras diferentes no mesmo quadrante .....	49
Figura 7 – Par de figuras iguais em quadrantes diferentes.....	49
Figura 8 – Par de figuras iguais em quadrantes diferentes.....	49
Figura 9 – Par de figuras diferentes em quadrantes diferentes.....	49
Figura 10 – Par de figuras diferentes no mesmo quadrante .....	50
Figura 11 – Par de figuras iguais em quadrantes diferentes.....	50
Figura 12 - Figuras originais conforme concepção de Shepard e Metzler (1971) .....	60
Figura 13 - Diagrama em blocos do hardware do EEG com seus respectivos estágios .....	67
Figura 14 – Processo de captura de sinais elétricos cerebrais pelo EEG – UCS.....	68
Figura 15 - Programa de aquisição do sinal pelo LabVIEW.....	69
Figura 16 – Exemplo de item do teste BPR5-RE .....	73
Figura 17- Média de energia no período de 0-200 ms para o sexo masculino.....	79
Figura 18 - Média de energia no período de 200-400 ms para o sexo masculino.....	81
Figura 19 - Média de energia no período de 400-600 ms para o sexo masculino.....	83
Figura 20 - Média de energia no período de 600-800 ms para o sexo masculino.....	84
Figura 21 - Média de energia no período de 0-200 ms para o sexo masculino área AE .....	86
Figura 22 - Média de energia no período de 200-400 ms para o sexo masculino área AE .....	87
Figura 23 - Média de energia no período de 400-600 ms para o sexo masculino área AE .....	89
Figura 24 - Média de energia no período de 600-800 ms para o sexo masculino área AE .....	91
Figura 25 - Média de energia no período de 0-200 ms para o sexo masculino área AH.....	92

Figura 26 - Média de energia no período de 200-400ms para o sexo masculino área AH.....	94
Figura 27 - Média de energia no período de 400-600 ms para o sexo masculino área AH.....	95
Figura 28 - Média de energia no período de 600-800 ms para o sexo masculino área AH.....	97
Figura 29 - Média de energia no período de 0-200 ms para o sexo feminino.....	98
Figura 30 - Média de energia no período de 200-400 ms para o sexo feminino.....	100
Figura 31 - Média de energia no período de 400-600 ms para o sexo feminino.....	102
Figura 32 - Média de energia no período de 600-800 ms para o sexo feminino.....	103
Figura 33 - Média de energia no ponto T3 masculino ao longo do tempo .....	105
Figura 34 - Média de energia no ponto P3 masculino ao longo do tempo .....	107
Figura 35 - Média de energia no ponto T4 masculino ao longo do tempo .....	108
Figura 36 - Média de energia no ponto P4 masculino ao longo do tempo .....	110
Figura 37 - Média de energia no ponto FP1 masculino ao longo do tempo .....	112
Figura 38 - Média de energia no ponto FP2 masculino ao longo do tempo .....	113
Figura 39 - Média de energia no ponto F3 masculino ao longo do tempo .....	115
Figura 40 - Média de energia no ponto F4 masculino ao longo do tempo .....	116
Figura 41 - Média de energia no ponto P4 masculino AE ao longo do tempo .....	118
Figura 42 - Média de energia no ponto P4 masculino AH ao longo do tempo.....	119
Figura 43 - Média de energia no ponto FP2 masculino AE ao longo do tempo .....	121
Figura 44 - Média de energia no ponto FP2 masculino AH ao longo do tempo.....	123
Figura 45 - Média de energia no ponto T3 feminino ao longo do tempo .....	125
Figura 46 - Média de energia no ponto P3 feminino ao longo do tempo .....	126
Figura 47 - Média de energia no ponto T4 feminino ao longo do tempo .....	128
Figura 48 - Média de energia no ponto P4 feminino ao longo do tempo .....	130
Figura 49 - Média de energia no ponto FP1 feminino ao longo do tempo .....	132
Figura 50 - Média de energia no ponto FP2 feminino ao longo do tempo .....	133
Figura 51 - Média de energia no ponto F3 feminino ao longo do tempo .....	135
Figura 52 - Média de energia no ponto F4 feminino ao longo do tempo .....	136

Figura 53 - Média de frequência entre pontos no escalpo para participantes AE masculino	137
Figura 54- Média de frequência entre pontos no escalpo para participantes AH masculino.	137
Figura 55 - Média de frequência entre pontos no escalpo para participantes AE feminino ..	138
Figura 56 - Média de frequência entre pontos no escalpo para participantes AH feminino..	138
Figura 57 – Número de acertos por cada tipo de estímulo, separados por área e sexo .....	139
Figura 58 – Distribuição dos acertos em cada figura, concentrados por área e sexo .....	139

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores controláveis selecionados para o experimento .....	45
Quadro 2 - Frequências do espectro do sinal cerebral .....	63
Quadro 3 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino na faixa 0-200 ms .....	78
Quadro 4 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino na faixa 200-400 ms .....	80
Quadro 5 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino na faixa 400-600 ms .....	82
Quadro 6 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino na faixa 600-800 ms .....	83
Quadro 7 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AE na faixa 0-200 ms .....	85
Quadro 8 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AE na faixa 200-400 ms .....	86
Quadro 9 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AE na faixa 400-600 ms .....	88
Quadro 10 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AE na faixa 600-800 ms .....	90
Quadro 11 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AH na faixa 0-200 ms.....	91
Quadro 12 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AH na faixa 200-400 ms.....	93
Quadro 13 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AH na faixa 400-600 ms.....	94
Quadro 14 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AH na faixa 600-800 ms.....	96
Quadro 15 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - feminino na faixa 0-200 ms .....	97
Quadro 16 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - feminino na faixa 200-400 ms .....	99
Quadro 17 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - feminino na faixa 400-600 ms .....	101
Quadro 18 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - feminino na faixa 600-800 ms .....	102
Quadro 19 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto T3 .....	104
Quadro 20 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto P3 .....	106
Quadro 21 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto T4 .....	107
Quadro 22 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto P4 .....	109
Quadro 23 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto FP1 .....	111
Quadro 24 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto FP2 .....	112

Quadro 25 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto F3 .....	114
Quadro 26 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto F4 .....	115
Quadro 27 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AE no ponto P4 .....	117
Quadro 28 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AH no ponto P4.....	118
Quadro 29 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AE no ponto FP2 .....	120
Quadro 30 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AH no ponto FP2.....	122
Quadro 31 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto T3 .....	124
Quadro 32 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto P3.....	125
Quadro 33 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto T4 .....	127
Quadro 34 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto P4.....	129
Quadro 35 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto FP1 .....	131
Quadro 36 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto FP2 .....	132
Quadro 37 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto F3.....	134
Quadro 38 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto F4.....	135
Quadro 39 – Relação entre percentual de acertos e percentual de participantes das áreas exatas e tecnológicas .....	140
Quadro 40 – Relação entre percentual de acertos e percentual de participantes das áreas humanas e sociais .....	141

## **TERMINOLOGIA E SIGLAS UTILIZADAS**

ADC – Conversor Analógico Digital

BIC- UCS – Bolsa de Iniciação Científica da Universidade de Caxias do Sul

CARVI – Campus Universitário da Região dos Vinhedos

DFT – Transformada Discreta de Fourier

DSP – Digital Processing Sinal

EEG - Eletroencefalografia

ERP – Event Related Potencial

UFCSPA – Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre

FFT – Transformada Rápida de Fourier

PPGIE – Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

UCS – Universidade de Caxias do Sul

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNIVARIATE – Análise de Variância para mais de uma variável resposta

SATEPSI - Sistema de Avaliação dos Testes Psicológicos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>24</b>
1.1	APRESENTAÇÃO GERAL .....	24
1.2	CONTEXTO E JUSTIFICATIVAS .....	27
1.3	OBJETIVOS DA PESQUISA E DO PROCESSO INVESTIGATIVO.....	32
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>32</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>32</b>
1.4	QUESTÕES DA PESQUISA .....	33
1.5	HIPÓTESES DA PESQUISA.....	33
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA APLICADA A INVESTIGAÇÃO .....</b>	<b>35</b>
2.1	PLANEJAMENTO DA PESQUISA E DO EXPERIMENTO.....	36
2.2	EQUIPAMENTOS E AMBIENTE EXPERIMENTAL .....	39
<b>2.2.1</b>	<b>Equipamentos .....</b>	<b>39</b>
2.3	PARTICIPANTES DO EXPERIMENTO .....	44
2.4	PARÂMETROS EXPERIMENTAIS .....	44
<b>2.4.1</b>	<b>Variáveis resposta ou dependentes: energia e frequência.....</b>	<b>44</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Parâmetros associados ao processo como fatores controláveis.....</b>	<b>45</b>

2.4.3	Fatores mantidos constantes na execução do experimento .....	45
2.4.4	Fatores de ruído.....	46
2.4.5	Restrição experimental: estudo de blocagem .....	47
2.4.6	Escolha da matriz experimental.....	47
2.5	PROCEDIMENTOS DO EXPERIMENTO.....	48
3	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>52</b>
3.1	CONTEXTO DO ENSINO NAS ÁREAS DE CONTEÚDOS CIENTÍFICO- TECNOLÓGICOS E HUMANOS-SOCIAIS .....	52
3.2	NEUROCIÊNCIAS E PSICOLOGIA COGNITIVA PRESENTES NO MODELO DE APRENDIZAGEM HUMANO.....	54
3.2.1	<b>Inteligência espacial ou habilidade espacial: manifestação no cérebro.....</b>	<b>59</b>
3.3	A ELETROENCEFALOGRAFIA COMO INSTRUMENTO PARA MEDIDA DE SINAL CEREBRAL.....	62
3.3.1	<b>Eletroencefalografia para medir inteligência ou habilidade espacial.....</b>	<b>64</b>
3.3.2	<b>Eletroencefalógrafo .....</b>	<b>66</b>
3.3.3	<b>Sistema de aquisição do sinal elétrico cerebral no EEG pelo LabVIEW .....</b>	<b>68</b>
3.4	MODELO MATEMÁTICO DO SINAL PELO LABVIEW: INFORMÁTICA APLICADA À PESQUISA EDUCACIONAL .....	69
3.5	MODELO ESTATÍSTICO SOBRE AS VARIÁVEIS DO MODELO MATEMÁTICO: INFORMÁTICA APLICADA À PESQUISA EDUCACIONAL .....	71

<b>3.5.1</b>	<b>Software Estatístico SPSS – Informática Aplicada a pesquisa educacional.....</b>	<b>71</b>
3.6	PSICOLOGIA E OS TESTES DE AVALIAÇÃO.....	72
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
4.1	RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....	77
4.1.1	Análise de Variância por pontos no escalpo para a variável dependente Energia	78
4.1.2	Análise de Variância por faixas de tempo para a variável dependente Energia	104
4.1.3	Análise dos sinais por FFT .....	137
4.1.4	Resultados do questionamento verbal .....	138
4.1.5	Resultados do subteste BPR5 – RE.....	140
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>142</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>148</b>
	<b>ANEXO A – TERMO DO COMITÊ DE ÉTICA.....</b>	<b>156</b>
	<b>ANEXO B – 2º ENCONTRO NACIONAL DE BIOMECÂNICA, PORTUGAL, 2007</b>	<b>159</b>
	<b>ANEXO C – ARTIGO SUBMETIDO E APROVADO ICECE2007 .....</b>	<b>164</b>
	<b>ANEXO D – ARTIGO SUBMETIDO E APROVADO NO SIECI 2007 .....</b>	<b>170</b>
	<b>ANEXO E – ARTIGO SUBMETIDO E APROVADO NO INTERTECH 2008.....</b>	<b>176</b>
	<b>ANEXO F – ARTIGO SUBMETIDO E APROVADO NO BICS08.....</b>	<b>181</b>
	<b>ANEXO G – CAPÍTULO DE LIVRO – SPRINGER VERLAG - 2010 .....</b>	<b>187</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esta tese apresenta resultados de um trabalho realizado junto à linha de pesquisa Paradigmas para o Ensino Científico e Tecnológico, do Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, PPGIE, da Universidade do Rio Grande do Sul, UFRGS, para aplicação na pesquisa sobre diferentes estilos cognitivos e, em particular, sobre evidências relacionadas ao raciocínio espacial como tópico específico dos processos de aprendizagem das áreas científicas e tecnológicas, os quais apresentam grandes exigências relacionadas a conteúdos e raciocínios espaciais. O trabalho foi desenvolvido sob orientação do Professor Doutor Milton Antonio Zaro e sob co-orientação da Professora Doutora Maria Isabel Timm.

### 1.1 APRESENTAÇÃO GERAL

O estudo foi estruturado com base na metodologia de Projetos de Experimentos<sup>1</sup> aplicada à investigação sobre sinais elétricos cerebrais, obtidos pela eletroencefalografia, relativos à energia recrutada durante atividade de identificação e comparação de figuras projetadas em três dimensões e rotacionadas em diferentes quadrantes, em tela de computador. Esta tese contextualiza e fundamenta os experimentos realizados com um grupo de alunos voluntários, classificados por idade e sexo, que participam dos cursos de graduação das áreas das ciências exatas e humanas, selecionados para a pesquisa. Os alunos submetidos ao experimento, que envolve instrumentação neurocientífica, também foram convidados a realizar um teste psicológico que avalia o Raciocínio Espacial – BPR5 - RE<sup>2</sup>. O subteste RE – Raciocínio Espacial do conjunto BPR5 associa-se em parte à inteligência fluida, mas, principalmente, à capacidade de processamento visual definida como a habilidade de representar e manipular imagens mentais [PRIMI. ALMEIDA, 2000]. A avaliação quantitativa em relação à habilidade de raciocínio espacial classificada por área de conhecimento foi utilizada como instrumento de apoio e inferência aos achados relativos às

---

<sup>1</sup> Metodologia por Projetos de Experimentos é uma técnica para a concepção de experimentos que busca gerar a maior confiabilidade possível de resultados, largamente difundida e considerada robusta na área da Engenharia. Será descrita detalhadamente no capítulo 2 desta tese.

<sup>2</sup> BPR5 (RE) – BPR5: Bateria de Provas de Raciocínio: Raciocínio Abstrato, Raciocínio Verbal, Raciocínio Numérico, Raciocínio Espacial e Raciocínio Mecânico. O subteste BPR5 (RE) – Raciocínio Espacial é um procedimento clínico, aplicado por profissional da Psicologia, e foi utilizado com o objetivo maior de validar e apoiar a metodologia aplicada, tanto quanto concluir sobre respostas obtidas as questões realizadas como hipóteses desta investigação. A metodologia aplicada neste estudo utiliza apenas o sub teste RE – Raciocínio Espacial que será descrito no item 3.5 desta tese.

coletas dos sinais eletroencefalográficos e respectivas modelagens: matemática e estatística. A metodologia e a instrumentação utilizadas para a realização do projeto estão apoiadas pelas Neurociências [BEAR, 2002] e os resultados podem ser interpretados à luz das teorias de aprendizagem produzidas no escopo das Ciências Cognitivas [ANDLER, 1998], [PINKER, 1998], [GARDNER, 1994, 2001], caracterizando-se, portanto, como multidisciplinar.

Com base na metodologia Projeto de Experimentos é possível, a qualquer momento aplicar novos modelos matemáticos sobre o banco de dados gerado. Desta forma, podem ser exploradas novas simulações apoiadas em outros modelos matemáticos com diferentes métodos de acesso aos conteúdos. As fundamentações teóricas nas áreas de Educação e Cognição (Ciências Cognitivas e Neurociências) seguem o objetivo de orientar os experimentos e reinterpretar os resultados.

Entende-se também que os resultados obtidos nesta tese possam colaborar com a Informática aplicada à Educação no uso, desenvolvimento e pesquisa sobre objetos educacionais virtuais em ambientes destinados a mediar a aprendizagem. É possível que, em um futuro próximo, tais informações, associadas com outros conhecimentos das áreas da educação, informática e cognição, possam orientar o planejamento e a produção de materiais educacionais e estratégias pedagógicas especificamente destinadas a atender e potencializar as habilidades e competências de diferentes perfis de alunos. Em particular, espera-se que tais orientações possam contribuir, no futuro, para a produção de hiperídia adaptativa.

Considerando-se a importância que a aplicação das técnicas neurocientíficas começa a representar, no Brasil e no mundo, para as pesquisas educacionais, o objetivo maior desta tese é o desenvolvimento de metodologia que possa agregar conhecimento sobre novas formas possíveis de medir diferentes capacidades cognitivas dos estudantes. Muito embora o uso do eletroencefalograma como instrumento para a medição de sinal elétrico advindo do comportamento humano não revele a melhor resposta ao processo cognitivo, porque o registro tende a refletir a atividade cerebral global, esta abordagem tem sido muito utilizada por neurocientistas cognitivos em condições de experimentos controlados, ou seja, quando é possível extrair sinal elétrico como resposta evocada de sinais elétricos globais [GAZZANIGA, 2006]. E nessas condições, sinais elétricos cerebrais são medidos pelo eletroencefalógrafo possibilitando diagnósticos do grau de compreensão verbal, organização perceptual, memória de trabalho e velocidade de processamento, destacando uma compreensão das habilidades visuais e verbais de sujeitos sadios [CUNHA, 2003]. Seguindo a mesma via da experimentação neurocientífica, a investigação modelada e realizada no experimento, gerou dados significativos das variáveis respostas de amplitude e frequência de

sinais cerebrais evocados por estímulos visuais, registradas por eletroencefalografia, em diferentes intervalos de tempo. Importante ressaltar neste momento que o uso do equipamento de eletroencefalografia para coletar dados de sinais elétricos cerebrais resultantes de processos cognitivos evocados por estímulos específicos somente se faz pertinente e é significativo se forem conhecidos os parâmetros de construção e condicionamento de sinal, próprios de cada instrumento. Em função do alto custo financeiro e praticamente da impossibilidade de acesso as variáveis de condicionamento dos sinais de equipamentos profissionais, foi desenvolvido no Laboratório de Biosinais da Universidade de Caxias do Sul, no Campus Universitário da Região dos Vinhedos, junto ao Curso de Engenharia Elétrica o instrumento de medição para eletroencefalografia (EEG) com tecnologia National Instrument. Também como parte do sistema para a realização das coletas de sinais elétricos cerebrais de baixa frequência e amplitude, minimizando a presença de ruídos eletromagnéticos interferentes significativamente no sinal coletado foi projetada e desenvolvida uma Gaiola de Faraday. Desta maneira pode-se garantir as condições de coleta dos sinais bem como certificar-se dos valores medidos ao final do processo. Ainda, em função da possibilidade de armazenagem dos dados, foi criado um banco de dados dos sinais coletados no experimento que poderão servir a futuras intervenções para novas modelagens matemáticas.

A primeira modelagem matemática aplicada aos sinais foi o cálculo da área relativa ao domínio tempo, que significa a energia do sinal demandado durante a realização da tarefa e este resultado é que será utilizado como fator de correlação no processamento estatístico e, também, com os resultados advindos da avaliação psicológica através do subteste BPR5 (RE), o qual aponta para resultado de capacidade de raciocínio espacial. O experimento modelado não foi contextualizado para medir fatores como compreensão verbal, organização perceptual, memória de trabalho e velocidade de processamento, embora alguns destes quesitos possam ser explorados futuramente a partir da base de dados gerada.

Para configurar a apresentação desta tese, apresentamos no Capítulo 1 os objetivos do trabalho, apontando para a importância que os resultados obtidos representam na área neurocientífica, bem como a significação que pode ser dada na área educacional, alavancando novas possibilidades metodológicas de avaliação dos processos cognitivos. Também são destacadas, respectivamente, as questões norteadoras que levaram ao desenvolvimento da pesquisa e as hipóteses levantadas como pressupostos que foram alcançados e testados, como é o caso da metodologia aplicada.

No Capítulo 2 é apresentada a metodologia utilizada apoiada na base de Projetos de Experimentos, metodologia quantitativa e qualitativa que permite inferir resultantes

significativas a partir do cruzamento das variáveis aplicadas. São descritos, segundo os critérios do modelo ético para experimentos com sujeitos humanos, os voluntários da pesquisa, características de gênero, idade e área de conhecimento e as variáveis elétricas a serem medidas. E na seqüência são apresentados todos os procedimentos para a execução do experimento.

O Capítulo 3 possibilita o entendimento e a visibilidade da importância da multidisciplinaridade científica como apoio às investigações em áreas de conhecimento afins com as questões educacionais. O contexto histórico do ensino nas áreas de conteúdos científicos e tecnológicos é apresentado como referência de contextualização teórica para a situação problema desta pesquisa e são destacados os conceitos referentes aos suportes teóricos da mesma, em particular, as questões apresentadas pelos psicólogos Steven Pinker [PINKER, 2002] e por Howard Gardner [GARDNER, 2001] sobre o modelo computacional da mente e as teorias das múltiplas inteligências, respectivamente. Também são protagonistas deste capítulo as teorias cognitivas e neurocientíficas [ANDLER, 1998] no modelo de aprendizagem humano, citando, em especial, as habilidades espaciais necessárias à aprendizagem. Como instrumento de apoio da Psicologia aos resultados da pesquisa é utilizado o subteste BPR5-RE que permite ratificar as possíveis conclusões. O referencial teórico do instrumento e da metodologia [LUCK, 2005] para o desenvolvimento prático da pesquisa, através da eletroencefalografia, também será descrito.

O Capítulo 4 integra os principais resultados obtidos no experimento modelado para a tese, apresentando o contexto metodológico do experimento, modelagem matemática e a análise estatística.

Seguem-se as conclusões do trabalho, apresentadas no Capítulo 5, acompanhadas de considerações que podem servir à futuras propostas de tese, como a novas pesquisas que permitam readequar os atuais resultados obtidos em novos contextos educacionais. Ainda pode-se utilizar a metodologia aplicada como uma nova abordagem de investigação a outras áreas de conhecimento que busquem o entendimento sobre o complexo funcionamento do cérebro humano, como é o caso das áreas da saúde.

## 1.2 CONTEXTO E JUSTIFICATIVAS

A pesquisa na área dos processos de aprendizagem ganhou, nos últimos anos, um forte aliado: as Neurociências. As tecnologias da eletrônica e informática, por sua vez, têm colaborado no sentido de instrumentalizar essas pesquisas. Cientistas dedicados às

neurociências desenvolvem pesquisas, no mundo inteiro, criando novos instrumentos e propondo novas metodologias para observar de forma cada vez mais precisa como o cérebro funciona, em diferentes situações, informação básica que aponta para a compreensão de como o ser humano conhece e aprende, em qualquer contexto histórico, cultural ou tecnológico [HARDIMAN. DENCKLA, 2009].

Muitos resultados obtidos através desse rumo científico nas formas de pensar sobre o conhecimento e a aprendizagem, por sua vez, já contribuíram ou poderão contribuir, no futuro próximo, para respaldar - ou não - os modelos teóricos baseados unicamente em suposições sobre os mecanismos de processamento cerebral, utilizados nas várias atividades humanas de processamento de informações, os quais embasaram os grandes sistemas da filosofia, da epistemologia, da psicologia e, nas últimas décadas, na educação. Grandes pensadores contemporâneos, renomados cientistas cognitivos, como os psicólogos Steven Pinker (1998, 2002) e Howard Gardner (1994, 2001), apresentam uma extensa e bem fundamentada linha teórica, que descreve - com base, ainda em incompletas evidências neurofisiológicas - o funcionamento da mente de forma modular (diferentes partes do cérebro possuem funções distintas destacadas no processamento total) e computacional (identificação do funcionamento de cérebro como uma máquina orgânica de processamento de diferentes tipos de informações). Esta linha teórica dialoga não apenas com as Neurociências, como com outras áreas do conhecimento<sup>3</sup> e aponta para a especialização das funções cerebrais, sem diminuir a importância da plasticidade neuronal e da fantástica integração e inter-complementaridade dessas funções. Também sugerem a existência de diferentes níveis de otimização em cada processo de desenvolvimento cognitivo humano, compatíveis com diferentes tipos, preferências e habilidades cognitivas, para diferentes indivíduos. Uma dessas habilidades ou inteligências, segundo o conceito proposto por Gardner (1994, 2001), é a do processamento de informações espaciais, que é o objeto de estudo desta tese. Segundo o autor, as habilidades são expressas como aptidões específicas e manifestas nas atividades profissionais. Assim, a habilidade espacial estaria presente, por exemplo, em profissionais como os arquitetos, projetistas gráficos e engenheiros mecânicos<sup>4</sup>.

A proposta teórica de Pinker e Gardner, e de outros cientistas cognitivos, integra, numa mesma formulação, a compreensão de que algumas funcionalidades básicas do cérebro

---

<sup>3</sup> O modelo teórico dos cientistas cognitivos leva em consideração aspectos multidisciplinares, entre os quais enfoques da Filosofia, Inteligência Artificial, Antropologia, Linguística, Lógica e Psicologia (Andler, 1988).

<sup>4</sup> O conceito de Inteligência Espacial será descrito e ampliado no Capítulo 3 deste projeto.

são inatas<sup>5</sup> e o desenvolvimento humano ocorre a partir delas, associadas às interferências do ambiente. Consideram que a contribuição genética individual, de forma inata, desencadeia diferentes desempenhos em processos cognitivos, e que, além disso, os estímulos advindos do meio externo ou interno, familiar, cultural, social, econômico e profissional, também contribuem para tais diferenciações, porque alteram estruturas fisiológicas e modificam o comportamento das redes neuronais, tanto quanto modificam o comportamento e a funcionalidade mental do próprio indivíduo<sup>6</sup>.

Os processos educacionais mais recentes têm envolvido resultados de pesquisas que apontam para os diferentes tipos de perfis de aprendizes e as diferentes motivações que os delimitam [BRENNER, 1997], [GREEN, 1999], [KERI, 2002], [FELDER, 2007], [SPINDOLA, 2007], [TSIANOS et al., 2009]. No entanto, as pesquisas publicadas [GROSMANN, 2002], [GARRIDO, 2005], [GEAKE, 2005], [MAJID, 2006], [BONINI\_ROCHA, 2008], [DE SMEDT. GRABNER, 2009] na área de cognição deixam claro que ainda não há um número significativo de estudos que envolvam áreas do conhecimento relacionadas às teorias da aprendizagem integradas às interpretações de base neuroanatômica e/ou neurofisiológica, que permitam entender mais profundamente, de forma taxativa, como se efetiva a aprendizagem em termos biológicos. Isto significa que, entre a observação experimental e a aplicabilidade de resultados às práticas de sala de aula, ainda existe um longo caminho a ser percorrido, o que afasta as certezas e impõe ao pesquisador e ao cientista, mais do que nunca, uma postura crítica e cautelosa, na busca pelas perguntas e formas de observação mais relevantes. Contudo, embora não haja resultados que venham a comprovar derradeiramente as teorias neurocientíficas propostas em relação aos processos cognitivos - como é o caso da aprendizagem de conteúdos complexos - existem evidências, obtidas em experimentos bem formulados [HARWANT, 1997], [GROSMANN, 2002], [KERI, 2002], [SIOK, 2005], [MAJID, 2006], [MULLER, 2007], [TSIANOS et al., 2009], [DE SMEDT. GRABNER, 2009] que apontam para diferenças entre os processos básicos da aprendizagem, citando, por exemplo, medidas de atenção, percepção e memória.

---

<sup>5</sup> Steve Pinker coloca que os seres humanos nascem com habilidades natas. Pinker propõe que haveriam faculdades cognitivas natas baseadas, a priori numa linguagem, física, matemática e psicologia intuitiva, que possibilitam um senso espacial, numérico e de probabilidades, além de uma economia intuitiva, uma lógica e um banco de dados mentais. Howard Gardner identificou as inteligências lingüística, lógico-matemática, espacial, musical, cinestésica, interpessoal e intrapessoal. Estas habilidades-inteligências são propostas como desencadeadoras das diferenças cognitivas para o desempenho do cérebro. O capítulo 3 desta tese apresenta detalhadamente as idéias dos dois autores.

<sup>6</sup> Não é impossível que, no futuro próximo, o acompanhamento longitudinal de alunos ao longo de um curso possa informar sobre tais modificações de padrões neuronais, decorridas em função do aprendizado (testes no início e no final do curso), em áreas com habilidades desejáveis ou necessárias, como as habilidades espaciais em atividades como Arquitetura, Engenharia, Design e outras.

O avanço das Neurociências e dos novos métodos e tecnologias de investigação dos padrões de sinais cerebrais; o diálogo dessa área com a Psicologia e todas as demais áreas do conhecimento, integradas nas Ciências Cognitivas; as novas demandas de planejamento e produção de materiais e estratégias de abordagem didático-pedagógica, em ambientes educacionais informatizados; e todas as evidências que apontam para a importância de identificar e interpretar os processos cognitivos caracterizam, portanto um novo e promissor território para a pesquisa educacional.

Seguindo a proposta deste trabalho, que buscou alinhar os pressupostos teóricos das Neurociências e das Ciências Cognitivas com os modelos experimentais, utilizando a investigação empírica suportada por metodologias robustas, já largamente utilizadas em outras áreas de conhecimento [TEN CATEN, 2007], resulta o entendimento que os resultados apresentados revelam possibilidades concretas para pesquisas neurocientíficas aplicadas a Educação<sup>7</sup>.

A metodologia utilizada nos experimentos - que contemplaram variáveis entre os voluntários da pesquisa como idade, sexo, áreas de conhecimento, pontos no escalpo, períodos do sinal medido, amplitude e frequência dos sinais cerebrais demandados durante a atividade - permitiu a observação, monitoração, quantificação e interpretação das diferenças ocorridas durante as operações mentais [BEAR, 2002], especialmente nas questões que dizem respeito à habilidade espacial [GARDNER, 2001]. Considerou-se a importância desse tema para o entendimento do processo de aprendizado humano, em geral, bem como para avaliar os esforços cognitivos realizados por estes jovens participantes da pesquisa ao deparar-se com estímulos que evocaram o processo de raciocínio espacial. Os resultados inferem que a metodologia utilizada é válida para experimentos neurocientíficos, permitindo que seja concluído que as variações estatisticamente significativas ocorridas neste experimento se repitam em novos experimentos modelados diante das mesmas variáveis.

Entende-se que esta avaliação poderá contribuir como parte de outros processos para a identificação do desempenho cognitivo no raciocínio espacial humano. O experimento proposto também poderá ser considerado como método de apoio à escolha profissional a ser seguida por jovens universitários, além da importância da identificação dos perfis cognitivos para o planejamento de estratégias e materiais didático-pedagógicos adequados, nas áreas do

---

<sup>7</sup> Começa a ser estruturada entre a comunidade internacional de pesquisadores em educação, hoje, uma área que leva o nome de Neuroeducação, que surgiu como resultante da integração entre as Ciências Cognitivas e as Neurociências, como apoio às pesquisas sobre Educação, pois permite, como técnica educacional, o entendimento dos processos de aprendizagem. Dando a importância devida a este tema, a UFRGS estrutura um projeto para a criação de um Núcleo desta natureza.

conhecimento científico e tecnológico, bem como nas áreas humanas e sociais, uma vez que pode apontar para elementos de motivação, facilidade ou inclinações. Levou-se em conta, neste trabalho, que conhecer o funcionamento cognitivo de aprendizes, relativamente a aspectos cujos padrões possam ser relacionados à habilidade espacial [GARDNER, 2001], poderá contribuir para uma identificação mais precisa das necessidades do aprendiz e de sua relação com os objetos de sua aprendizagem. Nesse sentido, pretende-se contribuir para a busca de novas formas de investigação a respeito dos diferentes perfis cognitivos, cuja aplicabilidade nas áreas de Educação – e por extensão, a Informática na Educação – pode ser ampliado em níveis acadêmicos e profissionais.

A investigação experimental nesta pesquisa utilizou a metodologia de Projetos de Experimentos<sup>8</sup> [TEN CATEN, 2007] e foi constituída por instrumentos neurocientíficos (uso de equipamento de eletroencefalografia) e apoiada, especialmente, pelas Ciências Cognitivas [ANDLER, 1998]. Como instrumento de apoio neurocientífico também foi utilizado um subteste para avaliar o Raciocínio Espacial (RE) da bateria BPR5, com o objetivo especial de correlacionar os resultados obtidos na eletroencefalografia com os do teste convencional. Além do objetivo experimental em si, considera-se como inovação deste projeto todo o desenvolvimento da instrumentação necessária para sua aplicação, bem como do ambiente experimental e a adaptação dos testes propostos ao ambiente informatizado, que permitiu a reprodução das pesquisas internacionais com uso de eletroencefalografia para obter informações relacionadas à cognição.

O objetivo maior - mas não único - desta tese foi buscar indicadores que possam subsidiar a hipótese de que há diferenças significativas entre estudantes de áreas científicas e tecnológicas e estudantes de áreas humanas e sociais, no quesito habilidades espaciais [GARDNER, 2001]. Desta forma, espera-se, futuramente, colaborar para o desenvolvimento de objetos para a aprendizagem que componham características encontradas em cada um dos modelos mentais de aprendizes, sejam eles pertencentes a áreas de conteúdos científicos e tecnológicos ou de áreas sociais e humanas, em estado de iniciantes ou concluintes de curso, jovens ou idosos e ainda, de sexo feminino ou masculino. Além disso, espera-se que seja possível ainda, a partir desse tipo de metodologia de pesquisa, elaborar situações

---

<sup>8</sup> O Planejamento de Experimentos (em inglês *Design of Experiments*, DOE) é uma técnica utilizada para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados durante um determinado experimento, buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo [MONTGOMERY, 2000]. No Capítulo 2 desta proposta será apresentada a fundamentação teórica de projetos de experimentos juntamente com a metodologia aplicada.

experimentais para observação de uso de tecnologias educacionais informatizadas, por alunos de áreas diversas.

### 1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA E DO PROCESSO INVESTIGATIVO

#### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver metodologia experimental para a observação, quantificação e interpretação de evidências neuronais – sinais de eletroencefalografia - relacionados ao processo cognitivo humano, em particular relacionados ao processo de raciocínio espacial, com base em instrumentos teóricos e tecnológicos das Neurociências e das Ciências Cognitivas, para uso na área da pesquisa educacional, visando contribuir para identificação de diferentes perfis de estudantes, para diferentes áreas do conhecimento.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Aplicar metodologia científica à pesquisa experimental multidisciplinar sobre Educação para monitorar e interpretar sinais de eletroencefalografia evocados a partir de um processo cognitivo – raciocínio espacial, que foram interpretados como indicador mensurável de energia proveniente dos sinais elétricos cerebrais, relacionada à habilidade espacial – raciocínio espacial, tomada como sinônimo de inteligência espacial, segundo conceito descrito por Gardner (2001);
- Observar evidências ou diferenças entre padrões de eletroencefalografia indicativos de habilidades espaciais – raciocínio espacial, em sujeitos de diferentes áreas de conhecimento;
- Como subproduto deste trabalho, contribuir para a área da saúde, com resultados que possam gerar novas técnicas e processamentos matemáticos de sinais de eletroencefalografia para a avaliação neurológica relativa à cognição humana.

#### 1.4 QUESTÕES DA PESQUISA

Considerando a principal questão do estudo, que é investigar diferenças entre habilidades cognitivas, mais especificamente as habilidades espaciais – raciocínio espacial, levantaram-se algumas questões prévias, abaixo relacionadas, e que foram norteadoras nesse processo.

- É possível identificar, através de eletroencefalografia quantitativa, diferenças cognitivas entre diferentes perfis cognitivos de estudantes de diferentes áreas de conhecimento (áreas de conteúdos científicos e tecnológicos x áreas sociais e humanas) quando submetidos a esforços cognitivos para reconhecimento de padrões visuais em ambiente virtual (imagem computacional)?
- É possível identificar diferenças no sinal elétrico (amplitude/magnitude/frequência) entre os diferentes pontos medidos no escalpo (conforme sistema internacional de medidas 10-20) dos estudantes de diferentes áreas de conhecimento (áreas de conteúdos científicos e tecnológicos x áreas sociais e humanas) quando submetidos a esforços cognitivos para reconhecimento de padrões visuais em ambiente virtual (imagem computacional)?
- É possível comparar os resultados dos instrumentos avaliadores de habilidades cognitivas da Psicologia como o subteste BPR5-RE com os resultados obtidos nas medidas eletroencefalograficas sobre questões que envolvam demandas cognitivas relacionadas a habilidades espaciais – raciocínio espacial?
- É possível desenvolver metodologia de pesquisa educacional com base em instrumentos das Neurociências e das Ciências Cognitivas?
- É possível inferir que estímulos cognitivos (como o exemplo de imagens rotacionadas no espaço) em ambientes virtuais de aprendizagem possam demandar diferentes esforços cognitivos para diferentes perfis de aprendizes?

#### 1.5 HIPÓTESES DA PESQUISA

Os pressupostos teóricos que embasam esta pesquisa [GARDNER, 2001], [PINKER, 1998] e as questões nomeadas no item anterior acerca de uma possível relação entre resultantes de variáveis relacionadas à investigação sobre as medidas de habilidades

cognitivas, especialmente e particularmente as habilidades espaciais – raciocínio espacial, e os diferentes perfis cognitivos entre as diferentes áreas de conhecimento, permitem que se suponha como hipóteses para esta pesquisa:

- É possível desenvolver metodologia interdisciplinar de pesquisa experimental com atividades cognitivas, baseadas nas Neurociências, Ciências Cognitivas e outras áreas;
- É possível identificar o acionamento de habilidades espaciais – raciocínio espacial durante execução de tarefa que demanda esforço visual e cognitivo através de eletroencefalografia;
- É possível observar diferenças entre os padrões de acionamento de habilidades espaciais – raciocínio espacial de diferentes indivíduos, através do processamento matemático dos sinais de eletroencefalografia;
- É possível relacionar os padrões individuais de acionamento de habilidades espaciais com a formação prioritária de cada indivíduo em uma das grandes áreas de conhecimento (humanas e científicas).

## 2 METODOLOGIA APLICADA A INVESTIGAÇÃO

A trajetória metodológica está inserida no modelo científico, com uma abordagem quantitativa, que apoiará sobremaneira os resultados qualitativos inferidos a partir dos modelos matemáticos gerados. A proposta aplicada na tese foi o modelo experimental, apoiado em projeto de experimentos, com amostra de escolha não aleatória, de caráter quantitativo e qualitativo com a produção de informações que apontaram para conclusões, mesmo que provisórias, a respeito da epistemologia e da cognição dos estudantes das áreas científicas e tecnológicas e das áreas sociais e humanas.

O Planejamento de Experimentos (em inglês Design of Experiments, DOE) é uma técnica utilizada para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados durante um determinado experimento, buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo [MONTGOMERY, 2000]. Essa técnica está apoiada fortemente em conceitos estatísticos, destinada a otimizar o planejamento, execução e análise de um experimento. O uso da técnica de Projeto de Experimentos permite que se estruture a seqüência de ensaios de forma a traduzir os objetivos pré-estabelecidos pelo pesquisador, o planejamento e condução do experimento, para que conclusões válidas e objetivas possam ser obtidas [MONTGOMERY, 2000]. A eficiência da modelagem e da confiabilidade dos resultados de experimentos projetados é superior em termos de informação a qualquer outra seqüência não estruturada de ensaios [RIBEIRO, 2007]. E o experimento pode ser definido como um teste ou uma série de testes, nos quais se pode realizar alterações nos dados das variáveis de entrada ou variáveis independentes do sistema ou do processo. E ainda, observar e identificar o efeito dessas mudanças sobre as variáveis de saída ou variáveis resultantes (variáveis dependentes) [MONTGOMERY, 2000].

O objetivo de realizar a técnica de Projeto de Experimentos para a investigação científica na área de Ciências Cognitivas inclui ajudar a construir uma base de conhecimento confiável e reduzir assim incertezas sobre quais teorias, ferramentas e metodologias são mais adequadas para certos contextos. Pode também acelerar o processo de escolhas, eliminando abordagens inúteis e suposições errôneas sobre determinadas hipóteses, e devido às rápidas mudanças tecnológicas na computação, os experimentos podem ser simulados ou ter seus dados modelados sob outras técnicas matemáticas que venham a ajudar os pesquisadores a explorar novas hipóteses na área cognitiva. Conforme Ribeiro (2007), alguns conceitos

relacionados a técnica de Projetos de Experimentos e que podem estar relacionados aos experimentos neurocientíficos são:

- **Variáveis de Resposta:** variáveis de saída (respostas) do processo que podem ser medidos e que permitem quantificar as características de comportamento de um sistema;
- **Parâmetros do Processo:** todas as variáveis do processo (presentes no experimento) que podem ser alteradas e que talvez tenham um efeito sobre as variáveis de resposta;
- **Fatores Controláveis:** é um subconjunto dos parâmetros do processo; são aqueles parâmetros do processo que foram eleitos para serem estudados a vários níveis no experimento;
- **Níveis:** correspondem a cada ajuste dos fatores controláveis utilizados no experimento; por exemplo, os dois tipos de áreas de conhecimentos ou os seis tipos de apresentação dos estímulos visuais (exemplo utilizado nos experimentos desta tese);
- **Fatores constantes:** são os parâmetros do processo que não são contemplados no experimento e que são mantidos constantes durante sua execução;
- **Fatores não controláveis (Ruído):** são as variáveis que não podem ser controladas pelo grupo de pesquisadores, sendo responsáveis pelo erro experimental, ou seja, a variabilidade experimental, como por exemplo, o ruído da rede elétrica e
- **Interações:** ocorrem no estudo de dois ou mais fatores controláveis, quando o efeito de um dos fatores depende do ajuste estabelecido para um outro fator.

## 2.1 PLANEJAMENTO DA PESQUISA E DO EXPERIMENTO

O planejamento da pesquisa e do experimento constituiu-se nas seguintes etapas:

- revisão bibliográfica sobre a história do processo de ensino-aprendizagem nas áreas científico-tecnológicas e nas áreas sociais e humanas, apontando para as necessidades atuais do saber dos profissionais e de suas deficiências, e para a construção da fundamentação teórica sobre o problema, apoiada nas Ciências Cognitivas, Neurociências e na Educação;

- formulação do problema a ser investigado: diferença de perfis cognitivos, especialmente no raciocínio espacial de profissionais e de aprendizes nas áreas tecnológicas, de conteúdo científico e nas áreas humanas e sociais;
- proposta de metodologia de pesquisa experimental sobre os processos de ensino-aprendizagem nas áreas de conhecimento envolvidas.

A realização do experimento de tese foi planejada e executada conforme as etapas:

- estudo sobre tecnologias de construção de equipamentos biomédicos, em especial sobre eletroencefalografia;
- construção de equipamento de eletroencefalografia - EEG – desenvolvimento do hardware para aquisição dos sinais analógicos (filtros e amplificadores de pequenos sinais) pelo Grupo de Pesquisa NP\_EngBIO<sup>9</sup> no Laboratório de Biosinais do Curso de Engenharia Elétrica da UCS – Universidade de Caxias do Sul – e do software com tecnologia LabVIEW<sup>10</sup> [NATIONAL INSTRUMENTS, 2007] para leitura, conversão analógico-digital, filtragem e modelagem matemática dos sinais;
- estudo sobre aquisição e tratamento de dados via LabVIEW – estudo conceitual sobre *Digital Signal Processing* DSP<sup>11</sup> – (conversão analógico-digital AD e filtros analógicos e digitais);
- domínio sobre a manipulação do instrumento de eletroencefalografia e dos sinais obtidos nos experimentos – realização de experimentos que são de domínio da comunidade científica (ex. da repetição do experimento *oddball* com imagens simples (caracteres X e O) e experimento para identificação de padrões visuais 2D e 3D) para a aquisição de metodologia e certificação do processo de aquisição e dos resultados obtidos (os experimentos e resultados foram relatados sob forma de artigos científicos e submetidos a Congressos; os artigos estão apresentados como documentos anexos a esta tese; os dados publicados relativos aos testes iniciais estão de acordo com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido pelo Comitê de Ética da UCS);

---

<sup>9</sup> NP\_EngBIO – Núcleo de Engenharia Biomédica da Universidade de Caxias do Sul

<sup>10</sup> LabVIEW - software de digitalização e processamento dos sinais da National Instruments – descrito detalhadamente no capítulo 3 – item 3.3.2

<sup>11</sup> DSP – Digital Signal Processing – Processamento Digital de Sinal – técnica utilizada para condicionamento do sinal digitalizado após conversão analógica-digital, como normalização, filtragens, etc.

- estudo e modelagem do experimento de tese: verificação de padrões cognitivos – especificamente habilidades ou inteligências espaciais- raciocínio espacial;
- submissão do documento Termo de Consentimento Livre e Esclarecido -TCLE ao comitê de ética da instituição participante na coleta de dados (UCS-FUCS);
- preparação do experimento usando como base de apoio as Neurociências e as Ciências Cognitivas (apoio do grupo de pesquisa de Psicologia Experimental da UFRGS, pesquisadores em Neurociências e psicólogos da UCS, pesquisadores da área da saúde da UCSPA e pesquisadores do Laboratório de Biosinais da UCS)<sup>12</sup> e o modelo proposto pela Estatística em Projetos de Experimentos;
- preparação da amostra da pesquisa – convite aos participantes voluntários de ambos os sexos das duas grandes áreas de conhecimento: exatas e humanas, presentes no Campus Universitário da Região dos Vinhedos, Bento Gonçalves – UCS\_CARVI para participação na coleta eletroencefalográfica e para realização do subteste BPR5-RE com o objetivo de correlacionar resultados;
- levantamento de dados de cada participante através de questionário investigativo sobre comportamento relativo ao uso de medicamentos lícitos ou não, ingestão de álcool, café ou fumo no período anterior a coleta; coleta dos dados (sinais cerebrais) pelo equipamento de eletroencefalografia, processamento e análise dos sinais e avaliação sobre o experimento e resultados – todo o processo foi apoiado pelo aporte teórico das Neurociências e Ciências Cognitivas, além dos suportes teóricos das áreas de conhecimento das Engenharias que auxiliaram no método para a execução do experimento;
- estudo e modelagem estatística (UNIVARIATE<sup>13</sup>) e matemática (DFT – Transformada Discreta de Fourier e FFT – Transformada Rápida de Fourier<sup>14</sup>) sobre os sinais adquiridos nos experimentos de base;

---

<sup>12</sup> Os resultados desta tese somam esforços de muitos pesquisadores e cientistas, além dos bolsistas do Laboratório de Biosinais que estão nominados na página de AGRADECIMENTOS desta tese.

<sup>13</sup> UNIVARIATE — técnica estatística para análise de regressão e para análise de variância de uma variável dependente por um ou mais fatores ou variáveis, em função da Curva Normal [MONTGOMERY, 2000].

<sup>14</sup> A escolha de Análise por Fourier para os dados obtidos dá-se pela consideração de que esta ferramenta matemática e suas variações (Wavelets e Garbor por exemplo) tem sido usada largamente em processamento de sinais estocásticos para quantificar energia (cálculo de área total do sinal).

- publicação dos resultados junto à comunidade científica (Congressos e Periódicos Internacionais<sup>15</sup>);
- uso do modelo matemático (uso de transformadas de Fourier<sup>16</sup>) para obtenção dos dados – sinais elétricos cerebrais - (cálculo da área do sinal utilizando módulo da amplitude ao quadrado que representa a energia do sinal demandado,

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |v(t)|^2 dt = E = A^2 \tau$$

e a magnitude e frequência dos sinais adquiridos nas coletas e interpretação dos mesmos como medida de esforço cognitivo aplicado a tarefa no experimento;

- uso do modelo estatístico para avaliar se há diferenças significativas entre variáveis respostas dos experimentos executados, ou seja, se há diferenças significativas entre os dados referentes às medidas de sinais cerebrais correspondentes à energia demandada durante a tarefa cognitiva, a magnitude do sinal e respectiva frequência no intervalo de tempo medido nos estudantes, considerando sexo, faixa etária e área de conhecimento, quando submetidos a estímulos visuais que demandam habilidades de raciocínio espacial;
- contextualização dos resultados obtidos nos métodos educacionais vigentes, análise, conclusões e indicações futuras.

## 2.2 EQUIPAMENTOS E AMBIENTE EXPERIMENTAL

### 2.2.1 Equipamentos

O instrumento utilizado para a aquisição de dados foi o equipamento de eletroencefalografia desenvolvido no laboratório de Biosinais do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Caxias do Sul (UCS), Campus da Região dos Vinhedos (CARVI) em Bento Gonçalves, Centro de Ciências Exatas, da Natureza e Tecnológicas (CENT). O hardware do eletroencefalógrafo foi desenvolvido por professores pesquisadores e bolsistas

---

<sup>15</sup> Publicações realizadas a partir dos resultados preliminares da pesquisa: CИСCI 2007 (6ta. Conferência Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática – 2007); INTERTECH'2008 (International Conference on Engineering and Technology Education-2008); BICS08 (Brain Interface Computer System – 2008); ICCE 2009 (17th International Conference on Computers in Education – 2009); Springer-Verlag 2009 (no periódico da Springer-Verlag ainda não publicado).

<sup>16</sup> Transformadas Discretas de Fourier (DFT) e Transformada Rápida de Fourier (FFT)

vinculados ao projeto de pesquisa intitulado “*EEG: uma ferramenta para análise de sinal cognitivo*” institucionalizado na UCS e apoiado pelo Programa BIC\_UCS. O projeto em hardware é identificado como um conjunto de circuitos amplificadores e filtros [PETERS, 2006], [METTINGVANRIJN, 2006], [BENNING at al., 2003].

São partes integrantes do equipamento de eletroencefalografia, em hardware:

- touca - para a aquisição do sinal foi utilizado um sistema com touca com eletrodos pré-fixados (capuz com 24 eletrodos) no sistema internacional 10-20% (Sistema Jasper), conforme aparece na figura 1 e sistema adaptador de impedâncias com cabos blindados; os eletrodos foram fixados com gel condutor a base de água ao couro cabeludo (este procedimento permite normatizar a coleta e assegura melhor qualidade na aquisição dos dados).

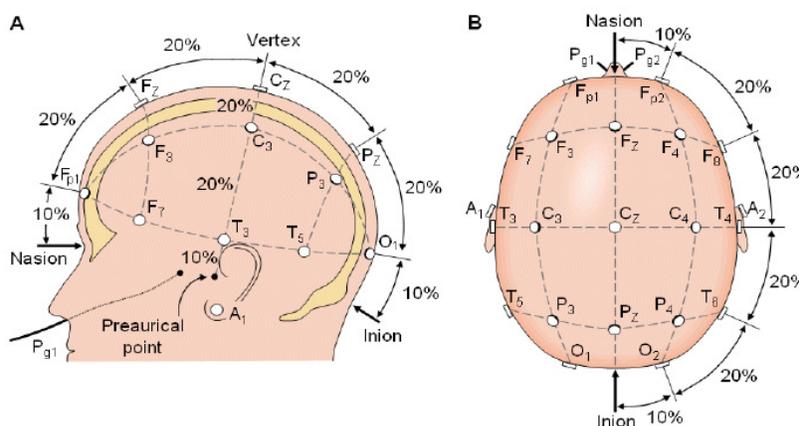


Figura 1- Sistema Internacional 10-20 visto pelo lado esquerdo (A) e de topo (B)  
Fonte: [BARTOŠOVÁ, 2008]

- sinal de referência - circuito calibrador responsável pela aferição dos sinais capturados por cada canal do equipamento; este sistema injeta uma corrente elétrica pré-estabelecida e igual a todos os amplificadores simultaneamente (cada canal de aquisição possui um circuito amplificador) e permite testar todo o sistema, garantindo sinais de saída com mesmo nível de amplitude;
- canal do EEG – cada canal possui um conjunto de circuitos amplificadores com ganho total de até 20000 vezes, que permite amplificar os sinais cerebrais de pequena amplitude (microvolts -  $\mu\text{V}$ ); o sistema é constituído de um amplificador de instrumentação com ganho de 12,4x, um amplificador com ganho ajustável entre 2 a 101x e ainda o ganho do

amplificador do filtro ajustado em 84x; cada canal tem duas entradas referenciadas em um único ponto (Ground do sistema) e configuradas no modo monopolar; o filtro de cada canal é um tipo passa alta com frequência de corte ( $f_c$ ) de 0,01Hz, que eliminam o sinal DC (sinal constante de frequência igual a 0 Hz) conforme figura 2 e

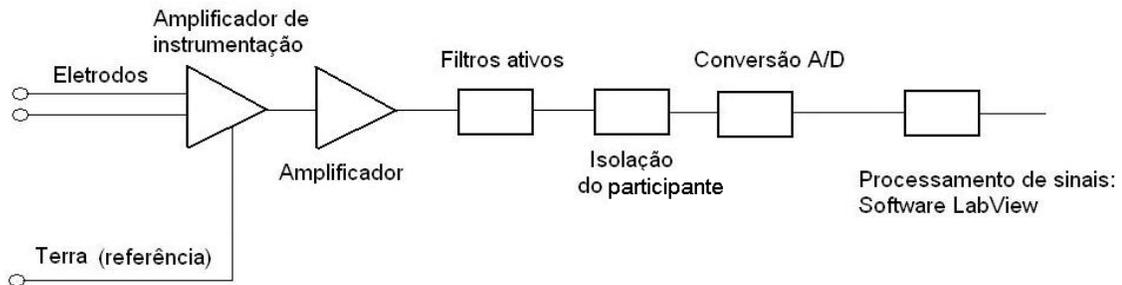


Figura 2- Esquema do Canal do EEG desenvolvido no Laboratório de Biosinais UCS  
Fonte: O autor

- placa de conversão de 16 bits da National Instruments (PCI-MIO-16E-1), utilizada como conversor analógico-digital (ADC).

São partes integrantes do equipamento de eletroencefalografia, em software:

- sistema de aquisição e processamento dos sinais: sistema LabVIEW 8.0 (software para aquisição, digitalização e processamento matemático de sinais;
- filtros digitais programados pelo LabVIEW e
- interface gráfica para visualização e programação pelo usuário conforme apresentado na figura 3.

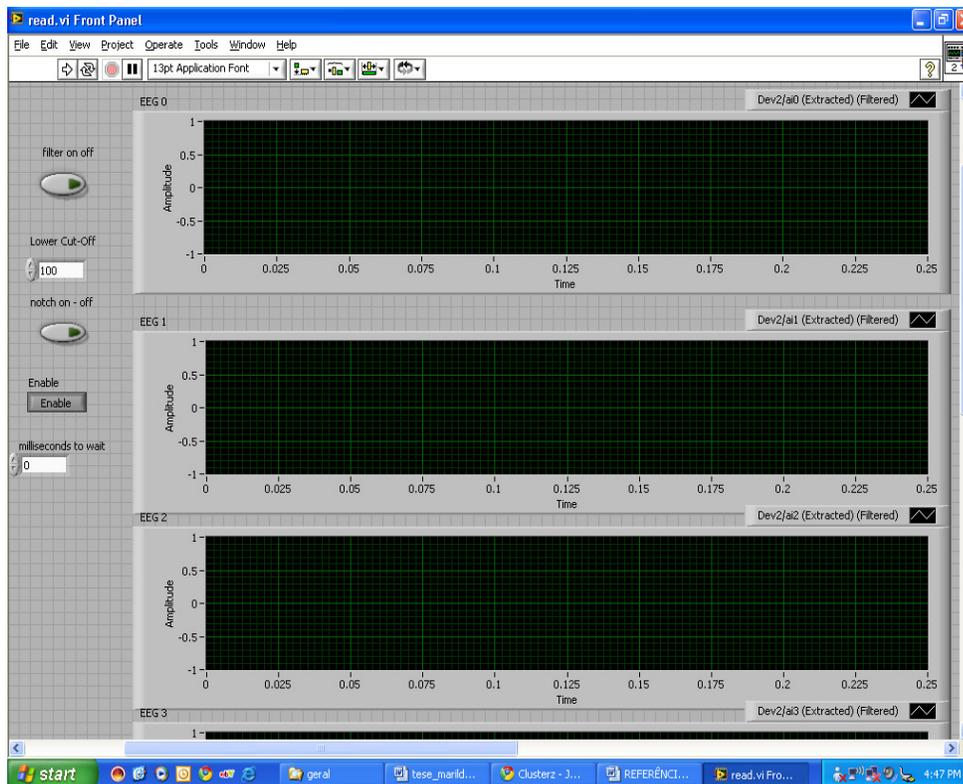


Figura 3 - Interface gráfica para visualização e programação no LabVIEW v8.0

Fonte: O autor

O número de canais utilizados em equipamentos de eletroencefalografia para coleta de sinal elétrico, em sistemas de avaliação de saúde (equipamentos comerciais) costuma variar entre 24 a 256, mas para pesquisas onde os pontos de interesse estão pré-identificados no escalpo, um número reduzido é aconselhado [LUCK, 2005]. No projeto do eletroencefalógrafo desenvolvido na UCS\_CARVI são utilizados 10 canais, permitindo uma pesquisa simultânea da atividade elétrica em regiões diferentes do encéfalo [LUCK, 2005].

Todas as alterações no traçado do eletroencefalograma foram capturadas, mas os artefatos relacionados com a contração muscular do piscar de olhos e movimentos da face, pescoço e musculatura temporal foram excluídos durante o tratamento do sinal, para as análises posteriores.

A aquisição dos dados para o experimento da tese foi realizada na sala do Laboratório de Biosinais, dentro de um ambiente isolado de ruídos eletromagnéticos, sem ruídos audíveis, sem outros estímulos que pudessem distrair o participante do objetivo do experimento. Os voluntários (sujeitos da pesquisa), após a avaliação clínica e preenchimento da ficha de dados

e do TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido) aprovado pelo Comitê de Ética<sup>17</sup> da UCS, foram convidados a sentar em uma cadeira com encosto para tronco e cabeça, acomodados de maneira o mais confortável possível, conectados a 10 eletrodos aderidos ao escalpo através da touca. A cadeira foi posicionada em frente a uma tela de monitor 15”, a uma distância de aproximadamente 90cm e o todo sistema ficou acondicionado em uma gaiola de Faraday<sup>18</sup> [OTT, 1988], [HAYT, 2003], com todo o ambiente interno isolado eletricamente do meio externo. O experimento foi planejado para que somente o estímulo visual estivesse presente na tela do monitor, ocupando toda a tela.

A figura 4 mostra a imagem da gaiola desenvolvida pelos projetistas do Curso de Física, Engenharia Mecânica e Engenharia Elétrica da Universidade de Caxias do Sul, Campus Universitário da Região dos Vinhedos – UCS\_CARVI. O projeto Gaiola de Faraday está institucionalizado na UCS e recebe apoio através de bolsas BIC\_UCS e de empresas como a INTRAL<sup>19</sup>, que fez a doação do aço (aço indicado para uso em isolamento eletromagnético de baixa frequência).



Figura 4 - Ambiente com conceito de Gaiola de Faraday desenvolvido no Laboratório de Biosinais UCS\_CARVI

Fonte: o Autor

Os resultados obtidos até o momento nesta pesquisa mostram que os ruídos na faixa de frequência em torno de 60 Hz são atenuados em aproximadamente 70% de sua amplitude original (amplitude do ruído no meio externo) quando medidos dentro da gaiola.

---

<sup>17</sup> Cópia do TCLE no Anexo 1

<sup>18</sup> Gaiola de Faraday: é uma blindagem eletromagnética, ou seja, uma superfície condutora que envolve uma dada região do espaço e que pode, em certas situações, impedir a entrada de perturbações produzidas por campos eletrostáticos e/ou eletromagnéticos externos.

## 2.3 PARTICIPANTES DO EXPERIMENTO

A técnica de Projetos de Experimentos aplicada como instrumento metodológico desta tese não designa um número de amostras  $n$  representativo estatisticamente sobre o universo estudado. O cálculo desta representação dá-se pela multiplicação do número de níveis de cada variável independente, correlacionada pela Análise de Variância [MONTGOMERY, 2000], [TEN CATEN, 2007].

Assim, para o experimento de tese optou-se pela escolha de 20 participantes de cada sexo, da mesma faixa etária (20-25 anos), sendo contempladas as duas áreas de conhecimento em estudo (exatas e tecnológicas e humanas e sociais) para cada sexo. O cálculo amostral no experimento de tese está relacionado a cada análise de variância estatística realizada, considerando os níveis dos fatores utilizados na correlação.

Os participantes foram convidados pessoalmente pela pesquisadora, em convite público e aberto, porém dirigido as áreas de interesse (áreas de ciências exatas e tecnológicas e áreas humanas e sociais), conforme descrito no Anexo 1 deste documento (TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido).

Todos os participantes relataram, em questionário investigatório, que eram sujeitos normais e não faziam uso de drogas de qualquer origem (lícitas ou ilícitas) e também não haviam consumido café ou outra substância alimentícia que causasse alteração comportamental em período anterior a coleta.

## 2.4 PARÂMETROS EXPERIMENTAIS

### 2.4.1 Variáveis resposta ou dependentes: energia e frequência

As variáveis resposta ou dependentes consideradas para o experimento de tese foram os parâmetros de *energia* e *frequência* das ondas eletroencefalográficas: **energia** –  $E = A^2 \tau$  (Joules/Hz) (através de cálculo do quadrado da área do sinal adquirido (amplitude do sinal no domínio tempo -  $\mu\text{V}$ ) e **frequência** - magnitude no domínio da frequência (análise no domínio da frequência – cálculo através de FFT - *Fast Fourier Transform*).

As variáveis dependentes escolhidas estão relacionadas às diferentes demandas cognitivas em função dos diferentes tipos de estímulos recebidos e, caracterizam desta maneira, os diferentes perfis cognitivos, como ocorre entre as pessoas de diferentes áreas do conhecimento.

#### 2.4.2 Parâmetros associados ao processo como fatores controláveis

O experimento consiste de uma avaliação do sinal cerebral, através de eletroencefalografia, entre sujeitos de diferentes áreas do conhecimento em relação ao seu potencial de raciocínio espacial, diante de um estímulo visual com características que evocam a habilidade espacial. Os fatores identificados como controláveis neste experimento são os sujeitos do experimento a 2 (dois) níveis para a questão área de conhecimento, os sujeitos do experimento a 2 (dois) níveis para a questão de sexo, os estímulos visuais apresentados a 6 (seis) níveis como pares de imagens tridimensionais rotacionadas, os períodos de tempo medidos a 4 (quatro) níveis e os pontos no escalpo pesquisados (8 níveis): T3, P3, T4, P4, PF1, PF2, F3 e F4. O fator período do dia, para a aquisição do sinal no EEG, foi escolhido como vespertino (entre 16h e 19h). O quadro 1 resume os fatores e níveis que caracterizaram o experimento de tese.

Fatores	Número de Níveis	Especificação do Nível
A:área de conhecimento	2	<b>AE:</b> científico-tecnológica e <b>AH:</b> humanas-sociais
B: gênero	2	<b>F:</b> feminino e <b>M:</b> masculino
C:tipo de estímulo	6	Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6
D:pontos no escalpo	8	T3, P3, T4, P4, PF1, PF2, F3 e F4
E:faixas de tempo	4	0-200ms, 200-400ms, 400-600ms e 600-800ms
F:participantes	40	PE1..10 (área exatas-homens) PH11..20 (área humanas-homens) PE21...30 (área exatas-mulheres) PH31..40 (área humanas-mulheres)

Quadro 1 - Fatores controláveis selecionados para o experimento

#### 2.4.3 Fatores mantidos constantes na execução do experimento

Durante a execução do experimento, alguns fatores que podem influenciar os resultados obtidos foram mantidos constantes, a saber: a luminosidade e a temperatura do ambiente, além do nível de ruído sonoro da sala. A aquisição dos sinais foi realizada sempre

com o mesmo operador e equipamento de eletroencefalografia, além de respeitar o mesmo período do dia conforme orientação sugerida por Luck (2005).

#### **2.4.4 Fatores de ruído**

O equipamento utilizado nos testes é um protótipo projetado e montado no Laboratório de Biosinais do Curso de Engenharia Elétrica da UCS [CARRA, 2007] e está sujeito às imprecisões de montagem e calibração. No entanto, antes de cada coleta de sinal, um procedimento de calibração foi executado pelo operador do instrumento utilizando o circuito calibrador do EEG, previamente aferido por um osciloscópio Tektronix 60 MHz.

Além dos fatores de ruídos intrínsecos ao próprio sistema do EEG, existem os ruídos eletromagnéticos presentes no ambiente que também representam distúrbios na confiabilidade dos dados coletados. Para minimizar estes ruídos o experimento foi realizado dentro da Gaiola de Faraday, que reduz o ruído eletromagnético em torno de 70% do sinal original.

A coleta do sinal é feita através de eletrodos que entram em contato com a pele através de um gel a base de água. Tanto os eletrodos como o gel possuem prazo de validade que foram respeitados. Também é necessário que a superfície de contato com o gel esteja limpa e sem sudorese, pois neste caso, o contato torna-se não adequado e há o não casamento de impedância entre superfície e eletrodo, o que gera perda no sinal coletado, sendo também considerado fator de ruído. Assim, para cada coleta, procedeu-se a limpeza da superfície de contato com os eletrodos, limpeza dos eletrodos e substituição do gel utilizado.

Também é considerado fator de ruído as condições neurológicas e fisiológicas do sujeito do experimento como, por exemplo, estado de ansiedade, de sono, de fome ou uso de algum tipo de droga, sudorese, ciclo menstrual, etc. Para cada coleta, antes do início do procedimento, o participante respondeu ao pesquisador se, naquele momento, estava sentindo algum desconforto relativo às questões descritas acima. Para qualificar o sinal, também foi realizado um teste durante a coleta do sinal de base (coleta em estado de repouso realizada durante cinco minutos antes do experimento oficial) que consistiu em solicitar ao participante que piscasse com frequência, que abrisse e fechasse a boca e que por fim mantivesse o estado de repouso. Neste momento também foi apresentado ao participante uma cópia de uma das figuras-estímulo para que o estado de ansiedade sobre o experimento fosse reduzido. Enquanto o participante era solicitado às diversas tarefas, os sinais cerebrais eram observados de forma visual, verificando a ocorrência de artefatos e a rápida recuperação para o sinal padrão em estado de repouso, em todos os canais simultaneamente.

#### **2.4.5 Restrição experimental: estudo de blocagem**

O protocolo para a coleta dos dados, considerando a restrição experimental por blocagem estabelecida no Projeto de Experimentos, foi respeitado. Como não houve condições de coletar todos os dados de todos os participantes em um mesmo dia e turno, em função do tempo de execução do experimento e da disponibilidade dos participantes, optou-se pela distribuição da coleta em todos os dias da semana selecionando no dia, quando possível, participantes de ambas as áreas de conhecimento e de diferentes sexos. Desta forma, apenas as áreas de conhecimento e sexo foram consideradas como fator de blocagem. As outras variáveis ficaram limitadas para a blocagem em função da característica do experimento. Também justifica-se esta definição de blocagem pela característica do experimento, ou seja a necessidade da coleta dos sinais simultaneamente nos pontos do escalpo, para avaliar o sincronismo dos sinais evocados pelos estímulos visuais e a sequência temporal do evento, isto é, a medida do sinal desde o início do estímulo até a sua finalização. A variável relativa ao estímulo – a sequência de figuras apresentadas - também não sofreu blocagem. Todas as seis figuras foram apresentadas em sequência, respeitando a mesma sequência para todos os participantes. Os valores selecionados para o experimento tais como número de repetições e tempo de apresentação do estímulo, bem como o tempo de intervalo entre estímulos seguiram orientação de estudos experimentais específicos na área neurocientífica, onde a base de experimentação assemelha-se a proposta desta tese [DEBENER, 2005], [SHOJI, 2006].

#### **2.4.6 Escolha da matriz experimental**

Após a definição dos fatores controláveis, foi realizado um projeto fatorial completo do tipo 5 fatores controláveis a vários níveis. Para obter maior representatividade estatística, considerou-se também a possibilidade da variável tipo de estímulo (Figuras) ser considerada como fator a um nível com seis repetições. Os experimentos foram realizados durante vários dias ao longo de dois meses e, assim foi utilizado a blocagem somente para os fatores área de conhecimento e sexo, únicos fatores possíveis de isolamento completo no processo. Desta forma, cada um dos fatores: área de conhecimento e sexo teve participação com iguais chances de ocorrência em cada um dos dias que foi realizado o experimento. Para o fator pontos no escalpo, faixas de tempo e tipos de estímulos não há procedimento de alteração em relação à posição, canal da coleta ou qualquer outro item e, para a ordem de escolha dos sujeitos ou das diferentes áreas foi considerada a sequência aleatória no dia do experimento.

## 2.5 PROCEDIMENTOS DO EXPERIMENTO

Os procedimentos previstos, como parte do processo do experimento, foram divididos em duas sessões individuais, nas quais os participantes foram submetidos. A primeira sessão teve como objetivo a realização do subteste psicométrico BPR5-RE, na forma convencional, com a orientação e aplicação feita pelo psicólogo. O teste foi aplicado em ambiente adequado, definido pelo psicólogo. O local foi a Universidade de Caxias do Sul, Campus da Região dos Vinhedos UCS\_CARVI, no bloco do Curso de Engenharia Elétrica. O grupo de alunos que participou do experimento foi convidado a estar no local do teste no dia e hora marcados. Antes de iniciar o teste, o pesquisador responsável leu o TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para os voluntários que neste momento consentiram em participar.

Na segunda etapa foram coletados os sinais cerebrais, ou seja, a aquisição de dados pelo equipamento de eletroencefalografia. Antes da execução dos procedimentos desta etapa, os voluntários conheceram todo o procedimento experimental com o equipamento e também uma imagem correspondente a um par de figuras extraída do conjunto apresentado na figura 5. Os estímulos apresentados na sequência foram imagens conforme mostram as figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11.

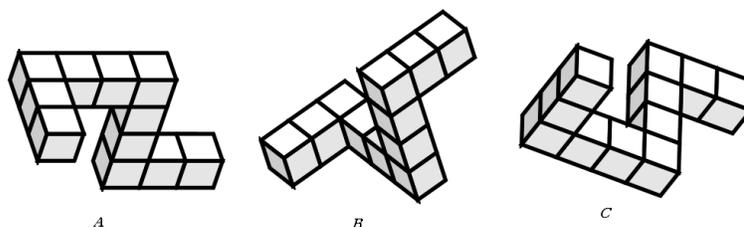


Figura 5 – Tipos de figuras do experimento  
Fonte: Shepard e Metzler, 1971

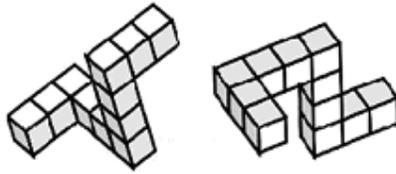


Figura 6 – Par de figuras diferentes no mesmo quadrante  
Adaptado de Shepard e Metzler, 1971

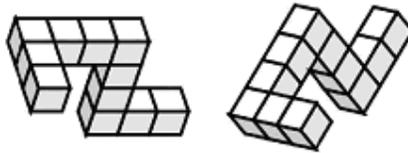


Figura 7 – Par de figuras iguais em quadrantes diferentes  
Adaptado de Shepard e Metzler, 1971

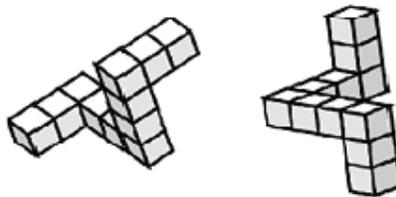


Figura 8 – Par de figuras iguais em quadrantes diferentes  
Adaptado de Shepard e Metzler, 1971

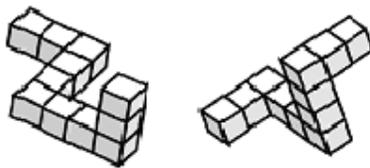


Figura 9 – Par de figuras diferentes em quadrantes diferentes  
Adaptado de Shepard e Metzler, 1971

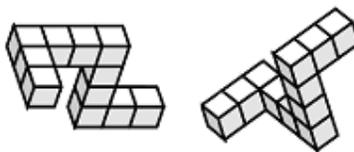


Figura 10 – Par de figuras diferentes no mesmo quadrante  
Adaptado de Shepard e Metzler, 1971

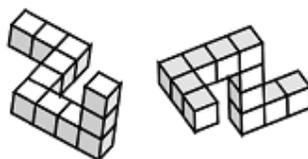


Figura 11 – Par de figuras iguais em quadrantes diferentes  
Adaptado de Shepard e Metzler, 1971

A participação dos voluntários deu-se em ordem aleatória, por sequência dos convites ou por disponibilidade dos voluntários, seguindo a orientação de coletas com diferentes sexos e diferentes áreas de conhecimento por dia, sempre nos horários entre 16h e 19h, durante os dias da semana pré-programados.. Buscou-se atender, assim, as orientações postas na preparação do experimento, como devidamente indicado na técnica de Projetos de Experimentos [TEN CATEN, 2007]. Cada voluntário participou da coleta uma única vez e o período de duração desta etapa do experimento foi de aproximadamente 30 minutos. Neste momento, foi colocada a touca com os eletrodos e todo o aparato necessário.

No ambiente da coleta somente estiveram presentes o aluno voluntário, o pesquisador e o aluno bolsista que participa da pesquisa na Instituição. Para evitar que os resultados fossem decorrentes de processo de ansiedade, foi realizado um registro de base dos sinais neurofisiológicos do participante nos primeiros cinco minutos antes de iniciar a tarefa proposta pelo experimento. Durante este período de coleta foi solicitado ao participante que procurasse ficar tranquilo e relaxado e, não se movimentasse bruscamente. Esta orientação dada ao participante costuma causar uma alteração em seus sinais eletrofisiológicos, sendo possível perceber, neste momento, de forma visual na tela do monitor do sinal coletado, a alteração na faixa de frequências cerebrais. Este procedimento é importante, pois garante que o sistema está respondendo de forma adequada à captura dos sinais cerebrais.

O tempo de apresentação de cada estímulo durou 800ms e o intervalo entre cada apresentação foi de 10s. Como orientação inicial, ou seja, antes da coleta, foi informado ao participante que o mesmo deveria comparar as imagens visualizadas na tela e logo após a apresentação de cada uma, deveria dizer ao pesquisador se as mesmas eram iguais ou não. Este procedimento gerou novos dados que foram comparados ao final do tratamento dos dados com os resultados da eletroencefalografia.

Os sinais coletados foram armazenados, filtrados e processados matematicamente (aplicação dos modelos da Transformada de Fourier Digitalizada - DFT e Transformada Rápida de Fourier - FFT). Os dados resultantes da aplicação dos modelos matemáticos foram: *energia e frequência*.

Os resultados obtidos pela análise estatística foram comparados, para os participantes que participaram de ambas as etapas (coleta por EEG e teste psicológico BPR5-RE) e são apresentados no capítulo 4 deste trabalho.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 CONTEXTO DO ENSINO NAS ÁREAS DE CONTEÚDOS CIENTÍFICO-TECNOLÓGICOS E HUMANOS-SOCIAIS

As ações de pesquisa, de gestão e operacionais na área da Educação têm envolvido muitas outras áreas do conhecimento com o objetivo de adaptar e adequar as novas demandas curriculares vigentes, incluindo todo o advento tecnológico proporcionado pelas ferramentas computacionais, aos mais variados perfis educacionais. Na sociedade atual, muitas são as habilidades requeridas aos egressos universitários, que desenvolvem suas potencialidades através da gama de estímulos apresentados durante o período letivo ou pelo exercício de atividades extracurriculares que também promovem ações formativas. Conjuntamente a estas oportunidades, os meios de comunicação promovem acesso a diferentes e emergentes tecnologias que envolvem e demandam recursos cognitivos humanos. Neste sentido, as exigências relativas à qualificação dos profissionais são distintas em função das áreas do conhecimento e do contexto profissional. Muitas habilidades necessárias aos estudantes das áreas científicas e tecnológicas, como as engenharias, tornam-se dispensáveis ou não são valorizadas em áreas humanas ou de cunho social, e vice-versa, não cabendo, neste trabalho, considerações de natureza moral ou discriminatória com relação a um ou outro perfil. Considerando que os recursos bioquímicos e as estruturas fisiológicas humanas são exigidos com graus de esforço diferenciado entre diferentes perfis cognitivos [PINKER, 2002], [GARDNER, 2001], parte-se da hipótese de trabalho de que existam diferenças entre os indivíduos e ressalta-se a importância de conhecer o perfil do estudante, seus potenciais e habilidades cognitivas, com o intuito de favorecer o seu desenvolvimento na área escolhida, orientar a sua escolha profissional e, atendendo a necessidades do enorme aporte da informática na educação, pesquisar e poder desenvolver estratégias de apoio à oferta customizada de objetos virtuais de aprendizagem, como por exemplo, a hiperídia adaptativa.

Desde o início do século passado, a Psicologia tem buscado auxiliar os estudantes, candidatos a uma determinada área do conhecimento, através dos testes vocacionais e de habilidades [BALBINOTTI, 2003], [NORONHA, 2003], [PASQUALI, 2007]. Somando-se ao conjunto das disciplinas que compõem as Ciências Cognitivas<sup>20</sup> [ANDLER, 1998], também a Psicologia tem avaliado os diferentes graus das aptidões, habilidades ou

---

<sup>20</sup> Também compõem as Ciências Cognitivas a Filosofia, a Linguística, a Inteligência Artificial e as Neurociências, a Lógica e a Antropologia.

inteligências<sup>21</sup> de cada um [GARDNER, 2001]. Os resultados das investigações feitas pelos cientistas experimentais da Psicologia e das Neurociências podem auxiliar as novas abordagens teóricas sobre aprendizagem e aquisição de conhecimentos e fortalecer as hipóteses sobre os diferentes tipos de inteligências humanas [GARDNER, 2001]. Alguns artigos de divulgação publicados [HARWANT, 1997], [GROSMANN, 2002], [HOUZEL, 2002], [KUHNEN, 2004], [DE SMEDT. GRABNER, 2009], apresentam resultados que permitem inferir sobre as capacidades do cérebro em construir memórias de curto e longo prazo, formar modelos mentais distintos que dependem dos processos evolutivos, sócio-comportamentais e culturais e permitem pensar sobre as diversidades humanas dos aprendizes. A possibilidade do conhecimento neurofisiológico do cérebro, de suas estruturas e do seu funcionamento, enquanto processa informações e aprende, permite formular novas hipóteses sobre o processo de aprender, que, total ou parcialmente, podem vir a apoiar ou contrapor teorias educacionais vigentes.

Do ponto de vista lingüístico, pesquisas têm sido publicadas dando ênfase às diferentes formas de aquisição de línguas [SIOK, 2005], [PAPAFRAGOU, 2008] sendo plausível supor que, embora não existam ainda, resultados definitivos, a aprendizagem de conteúdos matemáticos, visuais ou espaciais também encontre diferentes resultados entre os sujeitos. O estudo desses achados, mais do que qualquer justificativa sociológica, dá suporte a pesquisas pedagógicas com relação à melhor forma de ensinar conteúdos complexos, abstratos e lógico-espaciais, com enfoques pedagógicos especializados, respeitadores do perfil do estudante de cada área [TIMM, 2005]. Conhecer o perfil do estudante, seja pelo viés da análise qualitativa, das interpretações filosóficas, ou pela via das Neurociências, apoiada pela Psicologia Cognitiva, constitui ferramenta fundamental para o pesquisador contemporâneo [SPINDOLA, 2007]. Tais informações poderão no futuro ser utilizadas como suporte pedagógico, bem como das estratégias educacionais utilizadas.

Neurocientistas têm-se dedicado à pesquisa experimental, em laboratórios, utilizando técnicas que envolvem instrumentação com eletroencefalografia – EEG [CARRA, 2007] com o objetivo de reconhecer padrões de sinais cerebrais que possam representar processos cognitivos [LUCK, 2000], [FONSECA, 2003], [SPINDOLA, 2007], [SPINDOLA, 2008], [BACK, 2009]. A utilização de EEG é bastante comum na área da saúde para avaliação de disfunções neuronais. No entanto, é bastante recente como técnica investigativa na área do conhecimento e aprendizagem. Os métodos experimentais elaborados pela linha das

---

<sup>21</sup> O termo inteligência está sendo utilizado neste trabalho segundo a concepção de Howard Gardner.

Neurociências e da Psicologia Cognitiva geram resultados com uma dimensão quantitativa, o que facilita a compreensão das atividades normais envolvidas nos processos mentais. Embora todo o esforço seja feito para entender a relação entre os sinais cerebrais manifestos durante uma atividade cognitiva e os pressupostos teóricos de aprendizagem, este passo é ainda muito incipiente na área da Educação [BONINI-ROCHA, 2008]. Ainda que muitos modelos teóricos sobre a aquisição do conhecimento tenham sido propostos, a validação dos mesmos depende de experimentos bem elaborados e que estejam afinados com o uso da tecnologia.

### 3.2 NEUROCIÊNCIAS E PSICOLOGIA COGNITIVA PRESENTES NO MODELO DE APRENDIZAGEM HUMANO

A investigação sobre o cérebro, na busca de respostas ao comportamento e ao pensamento humano, remonta ao final do século 19, quando pesquisadores, principalmente das áreas da Psicologia, Fisiologia e Filosofia, apoiavam-se nas teorias mecanicista, estruturalista, funcionalista, comportamentalista e psicanalítica, entre outras, para fazer esse entendimento [SCHULTZ, 1992]. O interesse por essa questão se propaga aos dias atuais, com destaque à abordagem multidisciplinar. As Ciências Cognitivas permitem a geração de novas abordagens sobre o funcionamento do cérebro, a representação da mente e dos processos de aprendizagem cognitiva, entre outros [ANDLER, 1998], [PINKER, 2002].

Michel Imbert (1998) apresenta as Ciências Cognitivas conceitualmente como o estudo da inteligência humana, da sua estrutura formal ao seu substrato biológico e conseqüentemente, permite a geração de um modelo que envolve as expressões psicológicas, lingüísticas e antropológicas, tanto quanto os processos computacionais do raciocínio, hoje modelados pela lógica e pela inteligência artificial. Dadas as diferentes áreas de conhecimento envolvidas para uma possível explicação sobre a inteligência humana, emerge a necessidade de entendimento sobre o meio que a gera. Diante desta nova demanda cognitiva, os estudiosos das áreas de conhecimento do sistema nervoso e do cérebro desenvolveram interfaces graduais e robustas entre as suas disciplinas e que são conhecidas como Neurociências [ANDLER, 1998].

A área das Neurociências, agregada às tecnologias de ponta, tem sido responsável por descobertas significativas sobre o funcionamento do cérebro, incluindo os processos de interesse a área da Educação, ou seja, aqueles que respondem pela aprendizagem humana [BRENNER, 1997], [HARWANT, 1997], [GREEN, 1999], [GROSMANN, 2002], [HOUZEL, 2002], [KERI, 2002], [GARRIDO, 2005], [GEAKE, 2005], [SIOK, 2005],

[MAJID, 2006], [SPINDOLA, 2007], [FELDER, 2007], [MULLER, 2007], [BONINI\_ROCHA, 2008], [DE SMEDT. GRABNER, 2009], [HARDIMAN. DENCKLA, 2009] e [TSIANOS at al., 2009]. As descobertas de padrões de organização e funcionamento do pensamento humano têm possibilitado a criação de novas hipóteses sobre o processo de aprendizagem que atingem os sistemas motores e cognitivos [HOUZEL, 2002], [BONINI\_ROCHA, 2008]. Muitos cientistas têm investigado processos cognitivos associados a diversas atividades enfocando, sobretudo questões relativas a diferentes culturas e gêneros. Sobre o aspecto da influência da cultura, como elemento diferencial no processo de aprendizagem, pesquisas indicam que ocorrem alterações estruturais no cérebro humano em função do aprendizado diferenciado [HOUZEL, 2002]. Também se referem à comprovação de diferentes modelos funcionais entre cérebros masculinos e femininos, compatíveis com padrões anatômicos distintos entre sexos [GROSMANN, 2002] e ainda, que a idade deve ser considerada, quando o processo de aprendizagem for aplicado sobre conteúdos formais complexos e de ordem espacial [HARWANT, 1997] e [ROBERTS, 2000, 2003].

Um dos grandes pensadores na área das Ciências Cognitivas é Steven Pinker [PINKER, 1998], que descreveu a idéia preconizada inicialmente por Fodor e outros, sobre o modelo computacional da mente. A idéia está apoiada no modelo que envolve a seleção natural e a herança genética, bem como as interações desse tipo de processamento com relações sociais, culturais e do ambiente como um todo. Neste modelo teórico, são consideradas as necessidades estratégicas de sobrevivência do ser humano, o qual, como espécie, foi moldando características topológicas e funcionais da mente/cérebro, para exatamente implantar estratégias que pudessem fazer frente aos objetivos da sobrevivência. No processo evolutivo, novas estratégias foram desenvolvidas, aproveitando as habilidades inatas e o aprendizado cultural, e, como resultado desse processo, o ser humano apresenta atualmente um repertório estruturado de conhecimentos aplicados às mais diversas necessidades. Pinker, partindo do modelo conceitual de uma mente estruturada, que por análise funcional seria semelhante a uma lógica computacional, propõe que, desde o nascimento, o ser humano possuiria uma capacidade inata de produção de linguagem (idéia inicialmente desenvolvida por Noam Chomsky) que viabilizaria a aprendizagem da fala estruturada, com o tempo, e seria responsável pela representação mental conceitual e pela organização das imagens mentais, mesmo em indivíduos cegos. Além da capacidade de representação mental, o ser humano possuiria uma psicologia intuitiva que possibilitaria o comportamento de antecipação sobre ações externas. Outros mecanismos do processamento

inteligente seriam uma física e uma matemática intuitivas, que permitiriam o desenvolvimento de noções de objeto e de quantidades.

Como proposto por PINKER (2002), as faculdades cognitivas baseadas, a priori numa linguagem, física, matemática e psicologia intuitiva, que possibilitam um senso espacial, numérico e de probabilidades, além de uma economia intuitiva, uma lógica complexa para reconhecimento e tomada de decisão, além de um banco de dados mentais (diversos tipos de memória), suportam as especializações mais avançadas da mente, de forma diversificada, quando o sujeito é submetido à aprendizagem formal. As idéias descritas por esse autor dão suporte a novos questionamentos de neurocientistas, cientistas e pesquisadores da área da Educação, para investigar múltiplas diferenças dos processos cognitivos, como por exemplo, as diferenças de aprendizagem entre públicos diversos, de idades e formações diversas. Tais idéias, que multiplicam as possíveis suposições sobre variáveis integrantes no processo de aprendizagem, são compatíveis com as chamadas *inteligências múltiplas*, propostas por Howard Gardner (1994, 2001).

Gardner (2001) descreve que o ser humano possui habilidades ou inteligências diferenciadas, que possibilitam a interação com os objetos de conhecimento de forma variada. “Inteligência é um potencial biopsicológico para processar informações que pode ser ativado num cenário cultural para solucionar problemas ou criar produtos que sejam valorizados numa cultura” [GARDNER, 2001]. As inteligências são caracterizadas pelas diferentes possibilidades de inter-relação com os diferentes conteúdos cognitivos. As habilidades são as manifestações destas inteligências e é através das habilidades que podemos medir as inteligências, ou de forma empírica, observar a manifestação das mesmas nos seres humanos. Gardner identificou, em um primeiro momento, as inteligências lingüística, lógico-matemática, espacial, musical, cinestésica, interpessoal e intrapessoal [GARDNER, 1994], e em uma obra revisada [GARDNER, 2001] apresentou novos conceitos de inteligência, como a espiritual, naturalista, existencial e moral, conceituadas a seguir:

- **Inteligência lingüística:** os componentes centrais desta inteligência constituem-se de uma sensibilidade para os sons, ritmos e significados das palavras, além de uma especial percepção das diferentes funções da linguagem. A habilidade *linguagem* é usada para convencer, agradar, estimular ou transmitir idéias. Gardner indica que é a habilidade exibida na sua maior intensidade pelos poetas, jornalistas, escritores.
- **Inteligência musical:** manifesta-se através de uma habilidade para apreciar, compor ou reproduzir uma peça musical. Inclui discriminação de sons, habilidade para perceber

temas musicais, sensibilidade para ritmos, texturas e timbre, e habilidade para produzir e/ou reproduzir música.

- **Inteligência lógico-matemática:** os componentes centrais desta inteligência são descritos por Gardner como uma sensibilidade para padrões, ordem e sistematização. É a habilidade para explorar relações, categorias e padrões, através da manipulação de objetos ou símbolos, e para experimentar de forma controlada; é a habilidade para lidar com séries de raciocínios, para reconhecer problemas e resolvê-los. É a inteligência característica de matemáticos e cientistas. No entanto, Gardner explica que, embora o talento científico e o talento matemático possam estar presentes num mesmo indivíduo, os motivos que movem as ações dos cientistas e dos matemáticos não são os mesmos. Enquanto os matemáticos desejam criar um mundo abstrato consistente, os cientistas pretendem explicar a natureza.
- **Inteligência espacial:** Gardner descreve como a capacidade para perceber o mundo visual e espacial de forma precisa. É a habilidade para manipular formas ou objetos mentalmente e, a partir das percepções iniciais, criar tensão, equilíbrio e composição, numa representação visual ou espacial. Seria o tipo de inteligência predominante entre artistas plásticos, engenheiros e arquitetos. Com o objetivo de estudar o perfil cognitivo dos alunos das engenharias e das áreas tecnológicas optou-se selecionar a investigação de um padrão cognitivo na habilidade espacial em razão de estar associada a características mais presentes neste perfil cognitivo se comparado com o perfil cognitivo das áreas humanas e sociais, conforme salienta Gardner.
- **Inteligência cinestésica:** se refere à habilidade para resolver problemas ou criar produtos através do uso de parte ou de todo o corpo. É a habilidade para usar a coordenação grossa ou fina em esportes, artes cênicas ou plásticas no controle dos movimentos do corpo e na manipulação de objetos com destreza.
- **Inteligência interpessoal:** pode ser descrita como uma habilidade para entender e responder adequadamente a humores, temperamentos motivações e desejos de outras pessoas. Ela é melhor apreciada na observação de psicoterapeutas, professores, políticos e vendedores bem sucedidos.
- **Inteligência intrapessoal:** é o correlativo interno da inteligência interpessoal, isto é, a habilidade para ter acesso aos próprios sentimentos, sonhos e idéias, para discriminá-los e lançar mão deles na solução de problemas pessoais. É o reconhecimento de habilidades, necessidades, desejos e inteligências próprias, a capacidade para formular uma imagem

precisa de si mesmo e a habilidade para usar essa imagem para funcionar de forma efetiva. Como esta inteligência é a mais pessoal de todas, ela só é observável através dos sistemas simbólicos das outras inteligências, ou seja, através de manifestações lingüísticas, musicais ou cinestésicas.

- Inteligência **naturalista**: trata-se de um potencial da inteligência que é demonstrado em comportamentos criativos, que associam saberes adquiridos no cotidiano do senso comum a conhecimentos adquiridos com métodos científicos que sejam relacionados, não só à vida social, mas também, ao ambiente natural.
- Inteligência **existencial**: surge da capacidade humana de “se situar em relação aos limites extremos do mundo como o infinito e o infinitesimal” (Gardner, 2000, p. 78). Esse *situar* ocorre em relação à condição humana de existir e representar o mundo com significados sobre a vida, a morte, o destino do mundo, o porquê do amor e o significado da felicidade. É um tipo de inteligência que lida com informações sobre a condição humana, criando conhecimentos que implicam na orientação da vida social. Indivíduos que desenvolvem esse tipo de inteligência são atuantes em sistemas filosóficos, científicos e religiosos; lidam com a elaboração de princípios que orientam sociedades; buscam desconstruir paradigmas com a elaboração de novas noções que validem os acontecimentos sociais, como por exemplo, a instituição de direitos.
- Inteligência **moral**: o entendimento desta inteligência requer um estudo aprofundado na esfera da moralidade que inclua uma investigação sobre “personalidade, individualidade, desejo e sobre a realização mais elevada da natureza humana” (Gardner, 2000, p. 99). Mas, isso não quer dizer que não é possível elaborar uma noção de inteligência moral partindo das disposições biológicas e da condição social que determina nossa existência. Pensar numa inteligência moral se torna aceitável quando passamos a interpretar que o sentimento de justiça direciona decisões, aplicação de leis e reconstroem modos de convivência.

Gardner (2001) postula que essas competências intelectuais são relativamente independentes, têm sua origem e limites genéticos próprios e substratos neuroanatômicos específicos e dispõem de processos cognitivos próprios. Segundo ele, os seres humanos dispõem de graus variados de cada uma das inteligências e maneiras diferentes com que elas se combinam e organizam, e se utilizam dessas capacidades intelectuais para resolver problemas e criar produtos. Gardner ressalta que, embora estas inteligências sejam, até certo ponto, independentes uma das outras, elas raramente funcionam isoladamente. E ainda,

durante o processo de aprendizagem ou aperfeiçoamento de uma habilidade o sistema nervoso é capaz de alterar suas conexões, acrescentando novos circuitos a um circuito inato ou de complexidade menor, de fazer comparação com um padrão, acionar algum outro circuito, ou executar outras operações lógicas e matemáticas elementares que afetam o desempenho do sistema. Carey (2006) também coloca que o processamento cognitivo demanda do sistema nervoso alterações, em parte ou como um todo, enquanto aprende a coordenar e controlar uma nova habilidade aprendida. Essa experiência deixa vestígios e oferece a capacidade ao organismo para desenvolver e aperfeiçoar o repertório inato [GARDNER, 2005].

Considerando que o desenvolvimento das habilidades cognitivas, tais como a manipulação espacial de objetos, a construção do raciocínio lógico e abstrato e todo o conhecimento complexo, é dependente de pré-requisitos inatos, assim como da interação com o meio cultural, familiar, geográfico, etc. [PINKER, 2002], [GARDNER, 2001] torna-se necessário o entendimento sobre a aquisição do conhecimento nessas duas vias: inata e cultural. Muitos são os experimentos desenvolvidos por neurocientistas que procuram entender como o processo biológico e o meio interferem e constituem o processo de aprendizagem [HOUZEL, 2002], [RIBEIRO, 2005].

### **3.2.1 Inteligência espacial ou habilidade espacial: manifestação no cérebro**

Pela abordagem cognitiva deve-se reconhecer um potencial de uma habilidade pela associação de uma herança genética e pelos fatores culturais e sociais. No entanto, muitas das representações do conhecimento não estão associadas com o nascimento, tampouco ficam estagnadas na nossa mente quando da sua construção [GARDNER, 2005]. Segundo o autor, a mente modifica, constrói, reformula, combina, recombina, altera e destrói seus conteúdos. E ainda, Gardner (2001) coloca que as inteligências ou habilidades se manifestam de diferentes formas em diferentes perfis cognitivos. E mais especificamente sobre a inteligência espacial, pontua que é a capacidade de formar modelos mentais (imagens) e operar com tais imagens. Assim esta modalidade de inteligência é expressa de forma predominante em engenheiros, escultores, cirurgiões plásticos, artistas gráficos e arquitetos que dependem desta inteligência para atuarem com êxito, enquanto as habilidades linguísticas são manifestações mais significativas em jornalistas e poetas. E como uma das questões deste trabalho foi verificar a hipótese que manifesta que há diferenças entre perfis cognitivos distintos (entre áreas de conteúdos científicos-tecnológicos e áreas de conteúdos humanos-sociais) em relação à demanda de energia (através do cálculo da área do sinal elétrico cerebral evocado por

estímulos distintos) quando voluntários de diferentes perfis são submetidos a testes que evocam suas habilidades espaciais, propôs-se realizar medidas e investigar estas habilidades espaciais. As habilidades espaciais estão relacionadas com as formas e podem ser evocadas a partir de estímulos visuais que compreendem cores, formatos, dimensões e localizações [LIMA, 2005].

Tradicionalmente as habilidades espaciais podem ser medidas através da Bateria de Provas de Raciocínio Espacial – BPR5-RE que é um subteste de um conjunto de cinco provas para avaliação de Raciocínio Abstrato, Verbal, Numérico, Espacial e Mecânico aprovado e validado pelo Sistema de Avaliação de Testes Psicológicos (SATePsi). E efetivamente o subteste BPR5-RE foi utilizado nesta tese como instrumento de apoio e referência aos resultados encontrados através das medidas realizadas pela eletroencefalografia. Para tornar coerente esta comparação optou-se por utilizar estímulos visuais como fatores desencadeadores de raciocínio espacial que fossem compatíveis e comparáveis com os utilizados no teste psicológico. Assim, a escolha das imagens já apresentadas no capítulo 2 (Figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11) foi baseada no conceito de rotação mental introduzido por Shepard e Metzler (1971) e já utilizado em experimentos científicos [PETERS. BATTISTA, 2008]. Foram escolhidas três imagens distintas (imagens projetadas em três dimensões), conforme a Figura 12 e combinadas em seis pares.

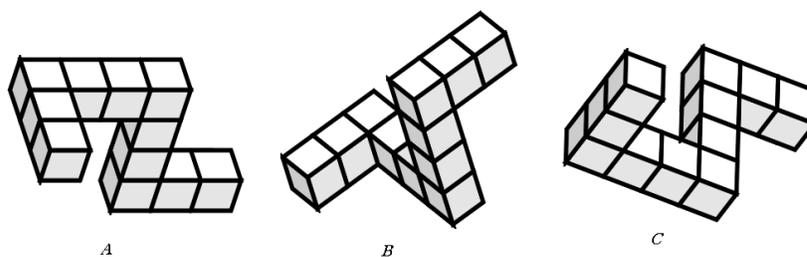


Figura 12 - Figuras originais conforme concepção de Shepard e Metzler (1971)  
Fonte: [SHEPARD; METZLER, 1971]

Foi proposto uma série de seis pares que contemplassem a comparação de igualdade entre as figuras. Os estímulos foram apresentados com as seguintes combinações (as três figuras iguais foram comparadas em pares e em quadrantes diferentes), somando-se as possibilidades propostas a seguir:

- par de figuras diferentes no mesmo quadrante;
- par de figuras iguais em quadrantes diferentes;

- par de figuras diferentes em quadrantes diferentes;
- par de figuras diferentes no mesmo quadrante;

Assim, entendeu-se que a proposta de apresentação destes estímulos provocaria o fator desejado, ou seja, uma alteração no sinal cerebral evocada (potencial evocado). Este entendimento está em acordo com outras publicações [ROBERTS. BELL, 2000], [LUCK, 2005], [GUIZHI, 2006] que apontam para o mesmo fato, pois tais autores relatam que os experimentos que demandaram atenção de estímulos visuais apresentaram resultados onde os sinais cerebrais estiveram alterados de forma significativa e detectáveis por EEG .

Após a primeira decodificação do sinal visual no córtex occipital, uma hipótese creditada por Leslie Ungerleider e Mortiner Mishkin (1982), [*apud* GAZZANIGA, 2006] indica que as informações seguem duas grandes vias (feixes de fibras ou fascículos) e são processadas nos lobos: temporal e parietal. Ungerleider e Mishkin propuseram que o processamento que ocorre ao final dessas vias é destinado a extrair tipos fundamentalmente diferentes de informações. A via ventral ou occipitotemporal leva os sinais ao lobo temporal e este é especializado na percepção e no reconhecimento de objetos (determinando o que estamos olhando). A via dorsal ou occipitoparietal leva os sinais ao parietal e o mesmo é especializado na percepção espacial (determinação sobre onde está um objeto) e na análise da configuração espacial entre diferentes objetos em um cenário. E segundo Warrington (1985) [*apud* GAZZANIGA, 2006], estes processamentos visuais ocorrem nos dois hemisférios do cérebro: no lado direito há o processamento perceptivo necessário ao reconhecimento do objeto e em seguida o processamento no lado esquerdo, processamento semântico necessário para nominar o objeto reconhecido.

Os lobos frontal e pré-frontal também estão associados ao processamento das habilidades espaciais através da memória de trabalho. Gazzaniga (2006, p. 533) apresenta resultados de experimentos relacionados à memória de trabalho espacial e não espacial, e a análise sustenta a hipótese de que as tarefas espaciais estão associadas à ativação no córtex pré-frontal direito (associado ao ponto FP2), enquanto as não espaciais geralmente ativam o hemisfério esquerdo. Embora outros estudos relatem uma atividade bilateral. O lobo frontal está amplamente relacionado com o planejamento e com movimento, também porque possui comunicação estreita com os lobos parietal e temporal [KANDEL. SCHWARTZ, 1985].

Considerando que os sinais elétricos advindos dos estímulos visuais percorrem o cérebro manifestando alteração significativa nos lobos temporal, parietal e frontal, logo após a decodificação no lobo occipital, escolheu-se realizar as medidas nos pontos T3 (temporal

esquerdo), P3 (parietal esquerdo), T4 (temporal direito), P4 (parietal direito), FP1 (pré-frontal esquerdo), FP2 (pré-frontal direito), F3 (frontal esquerdo) e F4 (frontal direito), pois os mesmos são representativos dos lobos pelo modelo Jasper - 10-20.

### 3.3 A ELETROENCEFALOGRAFIA COMO INSTRUMENTO PARA MEDIDA DE SINAL CEREBRAL

As relações entre os fenômenos cognitivos e os mecanismos biológicos humanos puderam ser mais profundamente observadas e interpretadas, com o auxílio de tecnologias na área de prospecção da atividade cerebral, através de métodos não-invasivos, como os eletroencefalogramas (EEGs) [RIBEIRO, 2005], [HARWANT, 1997], [ROBERTS, 2000], [GUIZHI, 2006]. O Eletroencefalógrafo (EEG) grava a atividade elétrica do cérebro a partir da superfície do escalpo. Um eletroencefalograma (EEG) é um registro visível da atividade gerada pelas células do cérebro (neurônios) depois de adequada amplificação e tratamento dos sinais. Nosso cérebro tem aproximadamente 100 bilhões de neurônios, e cada um deles tem um potencial para estabelecer em torno de 60 mil conexões (sinapses). A fonte do EEG são potenciais elétricos gerados pelos neurônios corticais, em resposta a uma série de estímulos na profundidade do cérebro. A atividade cerebral é captada na superfície do couro cabeludo (escalpo) através de eletrodos. Cada eletrodo registra aproximadamente 6cm<sup>2</sup> da superfície do escalpo, o que corresponde ao registro de 100 mil neurônios por eletrodo.

O instrumento eletroencefalográfico permite identificar as bandas de atividade cerebral ou ritmos, relacionando-os aos estados de vigília e não vigília. Cada um dos ritmos apresenta respectiva faixa de amplitude e frequência [LUCK, 2005]. Descrevem-se na literatura, ritmos de atividade Alfa, Beta, Teta [NIEDERMEYER, 1993] e Gama [BASAR-EROGLU at al., 1996]. Todas elas estão relacionadas ao comportamento cognitivo e aos níveis de consciência, e estados de prontidão e de movimentos, condições consideradas fundamentais para a função biológica da aprendizagem humana [BONINI\_ROCHA, 2008]. O quadro 2 apresenta um resumo das características de cada ritmo.

<b>Designação do Ritmo</b>	<b>Faixa de Frequência</b>	<b>Atividade</b>
<b>Delta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ menor que 3,5 Hz</li> <li>▪ amplitude alta: maior que 50 <math>\mu</math>V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Durante sono profundo</li> </ul>
<b>Teta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 4 a 7,5 Hz</li> <li>▪ amplitude média: 50 <math>\mu</math>V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vigília com estado de atenção forçada (concentração);</li> <li>▪ Resolução de problemas lógicos, cálculos matemáticos e processamento de memórias.</li> </ul>
<b>Alfa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 8 a 13 Hz</li> <li>▪ amplitude média: 50 <math>\mu</math>V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Durante vigília e relaxamento</li> </ul>
<b>Beta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 14 a 40 Hz</li> <li>▪ baixa amplitude: menor que 30 <math>\mu</math>V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vigília com estado de atenção</li> </ul>
<b>Gama</b>	40 a 100 Hz	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fenômeno de Sincronização – processo de aprendizagem</li> </ul>

Quadro 2 - Frequências do espectro do sinal cerebral

Fonte:[NIEDERMEYER. SILVA, 1993]

Com o uso de softwares específicos para o tratamento dos sinais obtidos pelo EEG, tornou-se possível a construção de mapas da atividade cerebral em instantes determinados, facilitando a compreensão dos potenciais elétricos na superfície do cérebro. Pesquisas consistentes demonstram [ANGHINAH, 1998], [GARRIDO, 2005], [RIBEIRO, 2005] a correlação entre determinados tipos de ondas com atividades de alerta e processamento cerebral, como a atividade Beta que se caracteriza pela baixa amplitude e aparece na banda alta da faixa de frequência de 14 a 40 Hz.

O conhecimento da composição de frequências da atividade elétrica cerebral é fundamental para pesquisas na área. Com a análise quantitativa da atividade elétrica cerebral (EEGq), que utiliza recursos de informática na avaliação do EEG, consegue-se superar o exame visual do traçado que comporta significativo componente subjetivo [FONSECA, 2003].

A análise de EEGs também revelou que, durante a apresentação de estímulos, são produzidas mudanças específicas no cérebro, representadas pelo aumento significativo na atividade sináptica de milhões de neurônios simultaneamente. As mudanças nos potenciais elétricos de membrana ocorrem em frações de segundo, depois da apresentação do estímulo, em diferentes regiões do cérebro. Estes potenciais evocados por um estímulo ocorrem de maneira sincronizada com o mesmo. A resultante dos potenciais elétricos de uma população neuronal é conhecida como *Event-Related Potentials* (ERP) (Potencial Relativo a Evento) [LUCK, 2005], que consistem de uma série de ondas positivas e negativas que podem ser

identificadas numericamente ou de acordo com sua latência. Os principais componentes ERP são N1 (pico negativo em 100ms), P2 (pico positivo em 200ms), N2 (pico negativo em 200ms) e P3 ou P300 (pico positivo em 300ms). Cada componente é identificado pela letra que indica se a onda é negativa ou positiva e pelo número que indica o tempo de ocorrência, medido em décimos de segundos [VEIGA, 2004], [PATEL. AZZAM, 2005]. O ERP é um método encefalográfico não invasivo que permite medidas eletrofisiológicas de amplitude de sinal de 2 a 20  $\mu$ V em faixas de frequência de até 100Hz (sinal de interesse cognitivo) [LUCK, 2005]. O principal foco de estudo em ERP tem sido a terceira onda positiva, chamada de P3 ou P300 [LUCK, 2000]. O componente P300 ocorre, normalmente, 300ms após a apresentação de estímulos associados com processos visuais e auditivos e tem sido uma poderosa ferramenta no estudo dos processos cognitivos associados a raciocínio espacial [WESTERFIELD, 1999]. A técnica ERP, juntamente com outras técnicas de investigação por imagem, tem permitido um maior entendimento, com aporte científico, sobre o funcionamento do comportamento humano, desde questões relativas a linguagem, memória, percepção até a movimentação motora [LUCK, 2000]. Através deste componente é possível observar as atividades cerebrais expressas como resultado da atividade neuronal associada com memória, percepção e atenção [GUIZHI, 2006], [SPINDOLA, 2008].

### **3.3.1 Eletroencefalografia para medir inteligência ou habilidade espacial**

Atualmente, as ciências de estudo do sistema nervoso utilizam o EEG e a ressonância magnética funcional (fMRI) para medir, qualitativa e quantitativamente, parâmetros de estado da atividade elétrica, gerada pelas células nervosas e pela atividade metabólica no encéfalo vivo [ANDERSON, 1982], [COSTA, 1994], [CAMPELO, 2003] durante experimentos planejados que possuam como objetivo a investigação sobre determinados aspectos cognitivos em determinadas áreas do cérebro e/ou em determinadas faixas de tempo. Muitas investigações sobre padrões cognitivos humanos manifestos através dos sinais elétricos cerebrais, relacionados aos eventos ou estímulos propostos, têm sido realizadas através da técnica de ERP - Potencial Relacionado a Evento [LUCK, 2005], [GUIZHI, 2006].

Após a apresentação de um estímulo visual, em experimento relacionado a estimulação do raciocínio espacial, ocorre alteração em latência e amplitude do sinal cerebral, cuja medida reflete o tempo necessário para a alocação do recurso e evocação da memória relacionada ao estímulo [LUCK, 2005], [SPINDOLA, 2008]. Os padrões de latência e amplitude são diferentes entre indivíduos, e também ocorrem diferenças para o mesmo

indivíduo quando submetido diversas vezes ao mesmo estímulo ou experimento, assim a alteração no padrão do sinal evocado nos diferentes pontos do escalpo pode ocorrer em diferentes instantes durante o processo de estimulação.

As componentes clássicas N1, P2, N2 e P3 estudadas por cientistas em diferentes situações de estimulação [LUCK, 2005], [DEBENER et al., 2005] apresentam, para cada indivíduo em determinado experimento, uma média de ocorrência em instantes que não coincidem exatamente com o tempo que naturalmente as nomina. Por exemplo, a componente P300 pode ocorrer desde 250ms até 400ms após o estímulo. As diferenças encontradas nas medidas de ERPs, sobretudo no conhecido ponto P300, entre os indivíduos, quando submetidos aos mesmos processos, que evocam demandas no sinal elétrico cerebral, permitem inferir que há diferenças na capacidade de processamento e na velocidade de geração de atenção nos processos cerebrais [VEIGA, 2004].

Como o EEG permite medir no domínio do tempo o comportamento dos sinais cerebrais, além de possibilitar as medidas de latência e amplitude, pode-se também calcular por Transformada Discreta de Fourier (DFT), a área correspondente a energia do sinal na janela de tempo selecionada. Além destas técnicas matemáticas, é possível aplicar a Transformada Rápida de Fourier ou *Fast Fourier Transform* (FFT) sobre o mesmo janelamento. Esta técnica possibilita ver o espectro de frequências presentes durante o período em que houve demanda de atenção em função da resposta ao estímulo visual.

Considerando os diferentes estudos realizados por neurocientistas na busca do entendimento da alteração do padrão do sinal elétrico cerebral [LUCK, 2005], [PATE. AZZAM, 2005], [GUIZHI, 2006], quando estimulado visualmente, e também seguindo a proposta metodológica apoiada em Projetos de Experimentos, optou-se por escolher variáveis a serem medidas que refletissem as alterações nos padrões de sinais nos diferentes pontos do escalpo e por intervalos de tempos que melhor caracterizassem as alterações advindas dos ERPs.

Em vários experimentos, que envolveram estímulos visuais e demandas de atenção, foi possível caracterizar, no escalpo, os pontos em que as medidas realizadas apresentaram maior latência e amplitude [GUIZHI, 2006]. A atenção seletiva visual ativou regiões do córtex de associação visual (O1 e O2), parietal (Pz, P3 e P4), temporal (T3 e T4) e pré-frontal (PF1 e PF2). No experimento desta tese, optou-se monitorar e estudar os pontos P3 e P4, T3 e T4, PF1 e PF2 e F3 e F4 pelas referências dos experimentos estudados e sobretudo, pelas referências citadas em Luck (2005), Niedermeyer e Silva (1993), Gazzaniga (2006), sobre o que ocorre nos diversos lobos cerebrais.

A variável faixa de tempo, que foi totalizada em 800 ms seguindo a medida total da exposição do estímulo, ficou dividida em 4 níveis: 0-200 ms, 200-400 ms, 400-600 ms, 600-800 ms. A seleção destes intervalos seguiu orientação do comportamento dos sinais ERPs que manifestam-se com características distintas em diferentes pontos do escalpo a intervalos significativos entre 100-200 ms (N1, P1, N2, P2) nos lobos occipital e parietal; 250-400 ms para o ERP P300 no lobo parietal e os intervalos entre 400-600 ms e 600-800 ms como sugestão de autores [GUIZHI, 2006], [DE SMEDT .GRABNER, 2009], que estão investigando o processamento cognitivo e aprendizagem nestes intervalos de tempo.

Os resultados encontrados no experimento utilizando estes parâmetros de medidas e a comparação com as respostas (acertos ou erros) sobre se os pares de figuras apresentados eram iguais ou não, além dos resultados do teste BPR5-RE são apresentados no capítulo 4 desta tese.

### **3.3.2 Eletroencefalógrafo**

Uma ferramenta bastante utilizada na pesquisa sobre o funcionamento das conexões neurais tem sido o eletroencefalógrafo que permite a eletroencefalografia quantitativa, que é um registro da atividade gerada pelas células do cérebro (neurônios), depois de adequada amplificação, condicionamento e armazenamento do sinal em computadores. A possibilidade de quantificação pelo EEG ampliou consideravelmente as indicações e a acurácia da eletroencefalografia como instrumento de investigação funcional do cérebro [JOHN, 2002].

Um equipamento de EEG é um conjunto de canais amplificadores. Cada canal do EEG possui um amplificador de instrumentação com uma configuração em hardware que permite medir a diferença de potencial entre dois eletrodos ou entre um eletrodo e um ponto neutro em relação à zona cortical. A tensão de um sinal medido por EEG é da ordem de  $\mu\text{V}$  (microvolts) no escalpo, e a faixa de frequência com maior energia é de 0,01 a 60 Hz. A variabilidade da atividade cerebral do EEG ocorre em duas dimensões: uma é a alteração do período (expressa em frequência - Hertz (Hz) ou ciclos/segundo) e a outra é a amplitude (expressa em voltagem-milivolts - **mV**), depois de adequada amplificação pelo EEG, pois na base do escalpo o sinal é adquirido em  $\mu\text{V}$ .

A possibilidade de uso do EEG está associada a disponibilidade de acesso aos dados adquiridos para posterior tratamento matemático no domínio tempo. No entanto, equipamentos comerciais que possibilitam o acesso a dados possuem alto custo financeiro e, estão menos disponíveis à pesquisa. Diante das impossibilidades de acesso a instrumentação

EEG qualificada, o Núcleo de Pesquisa de Engenharia Biomédica – NP\_ENGBIO<sup>22</sup> da Universidade de Caxias do Sul – UCS, sediado no Laboratório de BIOSINAIS do Curso de Engenharia Elétrica da UCS\_CARVI Campus Universitário da Região dos Vinhedos, em Bento Gonçalves, apoiou a construção de um eletroencefalógrafo com características para a pesquisa [CARRA, 2007].

O projeto EEG\_UCS foi desenvolvido a partir do princípio de funcionamento de um protótipo EMG<sup>23</sup> (eletromiógrafo), adaptando a teoria e o sistema de captura de sinais em função das características individuais dos sinais cerebrais. O EEG foi projetado para capturar os sinais cerebrais com o menor ruído possível. Para a construção do EEG foram consideradas várias técnicas para condicionamento dos sinais, como o uso de cabos com eletrodos comuns ou ativos (com buffer próximo ao eletrodo para diminuir a impedância de contato entre a pele e o sistema de amplificação do sinal), blindagem dos cabos e sistema de referência, para a eliminação dos ruídos e melhoria da qualidade do sinal capturado. A figura 13 apresenta o diagrama em blocos do hardware do EEG com seus respectivos estágios e a figura 14 mostra a imagem do processo de captura de sinais, utilizando o EEG desenvolvido na UCS, através da touca com eletrodos posicionados conforme a norma internacional de mapeamento de pontos no escalpo, 10-20% - sistema Jasper.

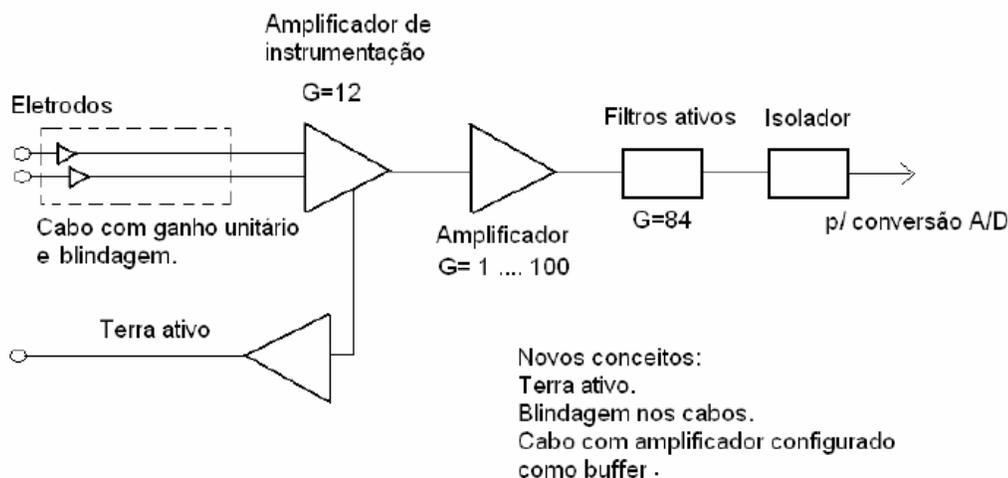


Figura 13 - Diagrama em blocos do hardware do EEG com seus respectivos estágios  
Fonte: o Autor

<sup>22</sup> NP\_ENGBIO – Núcleo de Engenharia Biomédica formado em março de 2007, com características multidisciplinares constituído de professores pesquisadores de diversas áreas do conhecimento (Engenharia Elétrica, Medicina, Fisioterapia, Educação Física, Física, Engenharia Mecânica, além de professores visitantes de outras Instituições de Ensino como a UFRGS e a Universidade Federal de Santo André (São Paulo).

<sup>23</sup> EMG – a eletromiografia é utilizada para a medição de sinal muscular-motor com o mesmo princípio da eletroencefalografia, ou seja, com o uso de eletrodos adequados na superfície da pele e medição amplificada do sinal adquirido com análise correlacionada do sinal ao evento muscular.

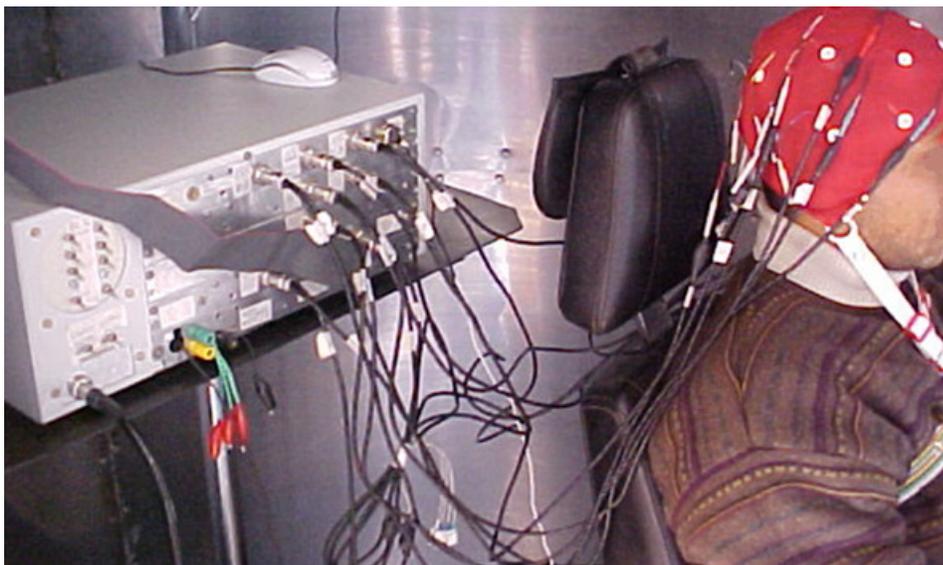


Figura 14 – Processo de captura de sinais elétricos cerebrais pelo EEG – UCS  
Fonte: o Autor

O sinal capturado no hardware do EEG é convertido digitalmente (ADC<sup>24</sup>) através da placa de conversão de 16 bits da National Instruments (PCI-MIO-16E-1). Este sistema é o responsável pela transformação dos dados analógicos adquiridos em dados digitais para posterior processamento pelo software LabVIEW, também da National Instruments. O sinal convertido foi linearizado utilizando valores de referência +5V e -5V em limites entre 1 e -1 como representação dos valores de amplitudes capturadas. A taxa de aquisição foi programada em 1000 pontos por segundo, ou uma aquisição a cada 1 ms.

### 3.3.3 Sistema de aquisição do sinal elétrico cerebral no EEG pelo LabVIEW

O uso de computadores para processar sinais fisiológicos cerebrais abre um número muito grande de possibilidades para se extrair informação útil. Os softwares desenvolvidos para essa finalidade têm possibilitado o tratamento dos sinais cerebrais coletados através de modelos matemáticos, porém ainda são precários em termos de qualificação de modelagens e de acesso muito restrito em função do valor de aquisição. Contudo, ferramentas como LabVIEW que é um software de aquisição e de processamento de sinais permite criar filtros

<sup>24</sup> ADC – Analogic Digital Converter – Conversor que transforma o sinal analógico capturado pelo eletrodo do EEG e amplificado nos vários estágios de hardware em sinal digital que será tratado e processado no sistema computacional

digitais, acondicionar o sinal da aquisição e processar os sinais cerebrais utilizando várias técnicas de processamento digital de sinais (Digital Signal Processing - DSP), tanto no domínio do tempo como no da frequência.

A figura 15 mostra a programação através de diagramas de bloco, realizada no LabVIEW, para a aquisição e análise dos dados.

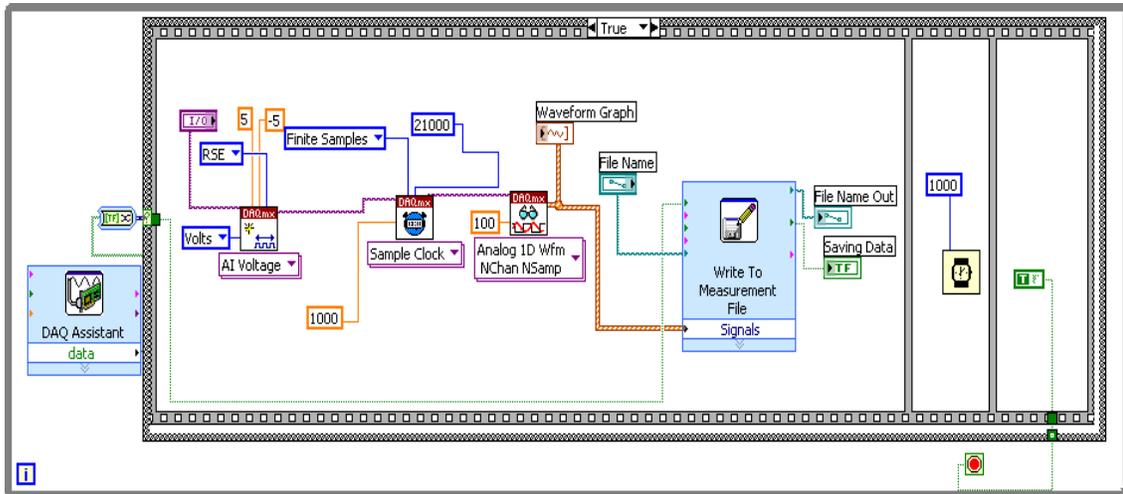


Figura 15 - Programa de aquisição do sinal pelo LabVIEW  
Fonte: o Autor

O LabVIEW utiliza uma linguagem de programação com diagramas de blocos e possibilita modelar diferentes técnicas matemáticas, além de simular outros componentes eletrônicos necessários a aquisição de sinais.

### 3.4 MODELO MATEMÁTICO DO SINAL PELO LABVIEW: INFORMÁTICA APLICADA À PESQUISA EDUCACIONAL

As tecnologias educacionais estão baseadas sobre princípios que refletem uma aplicabilidade quase imediata ao processo de ensinar-aprender, como coloca Behrens (2000). Cita a autora que a tecnologia da informação aplicada à Educação possibilita o encorajamento do contato entre estudantes e universidades, a cooperação entre estudantes, a aprendizagem colaborativa, a comunicação imediata entre professor e alunos, enfatiza o tempo para a realização das tarefas (à distância ou presenciais), comunica altas expectativas (cria a expectativa da atração e do estímulo) e respeita talentos e diferentes modos de aprender. É sobre esse último princípio que se busca fundamentar o uso da tecnologia aplicada à

educação. O apoio das tecnologias computacionais neste projeto não está relacionado, com o desenvolvimento e uso de ferramentas computacionais diretamente aplicadas ao aprendizado, mas à sua observação, como suporte tecnológico que possibilita a análise dos sinais elétricos cerebrais (modelagem matemática e estatística dos sinais) para a identificação dos modelos cognitivos dos vários perfis de aprendizes. Aponta, entretanto, como já se disse, para a possibilidade do uso da metodologia gerada em situações experimentais de observação e avaliação de objetos educacionais informatizados.

O apoio tecnológico da informática está representado pela ferramenta LabVIEW. No sistema LabVIEW é possível a programação de diversas funções matemáticas e inclusive modelos estatísticos. Assim, logo após a digitalização e filtragem do sinal para minimizar efeitos de ruídos de fontes externas e artefatos, é possível programar um modelo matemático sobre os sinais adquiridos. Uma das técnicas matemáticas é chamada de análise espectral. Esta técnica se baseia em um teorema matemático, publicado em 1822 pelo cientista Jean-Baptiste Fourier, e permite mostrar os componentes de frequência e amplitude de uma onda cerebral, o que se faz necessário identificar no processamento dos sinais relacionados aos eventos cognitivos ou para este experimento, eventos que demandem habilidades espaciais.

A Transformada de Fourier (aplicada em sinal contínuo no tempo) tem sido um modelo matemático clássico e muito utilizado por pesquisadores das Ciências Cognitivas [CAMPELO, 2003], [LOPES, 2005]. No entanto, na representação computacional do sinal do eletroencefalógrafo (eletroencefalograma), é utilizado a Transformada Discreta de Fourier (denotada por DFT), em função do processo de digitalização. A DFT é utilizada na descrição, representação e análise de sinais discretos e é uma das operações fundamentais em Processamento Digital de Sinais, conforme a equação:

$$X(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-i\omega n}$$

Contudo, a computação da DFT, em muitos casos, demanda muito tempo de processamento em sinais coletados em tempo real. Para tais situações pode-se utilizar a Transformada Rápida de Fourier (FFT) que é uma somatória de operações de DFT na forma discreta, ou seja, permite transformar um conjunto  $m$  de variáveis no domínio da frequência a partir de um conjunto  $n$  de amostras no domínio do tempo.

O esforço computacional requerido neste caso é menor que o do cálculo da DFT contínua [KAPLAN, 1972]. Ambos os modelos matemáticos (DFT e FFT) foram

implementados pelo LabVIEW para a avaliação dos dados coletados no experimento relativo a avaliação das habilidades espaciais.

### 3.5 MODELO ESTATÍSTICO SOBRE AS VARIÁVEIS DO MODELO MATEMÁTICO: INFORMÁTICA APLICADA À PESQUISA EDUCACIONAL

A Análise de Variância é uma técnica estatística que estuda a diferença entre as médias de duas ou mais populações utilizando dados amostrais e investigando quanto de variabilidade em um conjunto de observações ou dados pode ser descrito por diferentes causas [MONTGOMERY, 2000]. A utilização desta técnica permite análises univariadas, com o uso dos dados de frequência e energia como variáveis-resposta. Os fatores ou grupos propostos para a análise, no experimento de tese, foram as áreas de conhecimento, gênero, tipo de estímulo visual, pontos no escalpo e faixas de tempo.

#### 3.5.1 Software Estatístico SPSS – Informática Aplicada a pesquisa educacional

A análise estatística, necessária a discriminação dos resultados no formato quantitativo, permite avaliar e comparar resultados com o entendimento sobre a medida de significância entre fatores responsáveis pelo comportamento de um sistema. O pacote de software LabVIEW possibilita, além do modelo matemático para os dados, uma modelagem estatística. No entanto, a opção escolhida para desenvolver os cálculos estatísticos deste projeto foi o software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences - pacote estatístico para as ciências sociais), pois este não necessita maior esforço de programação e, também por ser amplamente conhecido e de fácil utilização.

O programa de computador **SPSS** é um software desenvolvido para realizar cálculos estatísticos complexos, visualizar resultados, fazer análises estatísticas e gerir banco de dados. A proposta inicial para este pacote estatístico estava relacionada com os processos das ciências sociais, mas atualmente tem sido também muito utilizado com estudos aplicados as áreas de saúde, do governo, da educação e outros setores [WIELKIEWICZ, 2000], [TEN CATEN, 2007].

O SPSS possui uma estrutura do tipo modular que inclui um módulo Base e outros módulos opcionais como Estatísticas Profissionais, Estatísticas Avançadas, Tabelas, Tendências, Categorias, Regressões e outros. No módulo Base encontram-se ferramentas necessárias para realização dos procedimentos estatísticos tais como análise exploratória de

dados, tabelas de contingência, comparação de médias, análises de variância, testes não paramétricos, correlação e regressão linear múltipla, assim como técnicas de análise fatorial, discriminante, de conglomerados e cálculo de proximidades [PAESE, 2003].

A opção estatística adotada para este projeto de tese foi a Análise de Variância – UNIVARIATE -, disponível no módulo Base do software SPSS. No capítulo 4 desta tese são apresentados os resultados obtidos nos experimentos realizados, modelados estatisticamente através do programa SPSS.

### 3.6 PSICOLOGIA E OS TESTES DE AVALIAÇÃO

A partir das hipóteses básicas apoiadas pelas Neurociências e pelos cientistas cognitivos Pinker e Gardner, considerou-se nesta pesquisa a busca de metodologia de observação empírica de padrões cognitivos relativos à habilidade espacial, a qual pudesse ser comparada com resultados validados através da Psicologia, ciência que aborda as avaliações sobre os estados de saúde mental, sobre os padrões cognitivos e muitas outras medidas psicológicas através de testes validados no meio científico [PRIMI. ALMEIDA, 2000], [SATEPSI, 2002], [PASQUALI, 2007].

A habilidade espacial pesquisada - ou inteligência visoespacial - é tema da Psicologia e, especificamente, da área que recebeu o nome de Psicometria, por tratar quantitativamente destas observações [CUNHA, 2003]. Esta capacidade é considerada uma das mais importantes para o entendimento de conteúdos complexos e de alta exigência de percepção de formas espaciais, necessárias para o desempenho de atividades como a engenharia, arquitetura, design, entre outras.

Desde o início do século XX, vários modelos teóricos surgiram nestas áreas da Psicologia para explicar o funcionamento intelectual, compreendendo a inteligência ora de forma bidimensional ora de forma multidimensional. A partir destes modelos, surgiram testes para a avaliação da inteligência. David Wechsler (1949) elaborou os seus famosos testes para aferição da inteligência em crianças e adultos, Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC) e o Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS) [WECHSLER. SCHELINI, 2006]. Também no Brasil são utilizados outros instrumentos para mensurar a inteligência, tais como os testes das Matrizes Progressivas de Raven [RAVEN. 1965, 2000] e o G-36 [BOCCALANDRO. 2002] para avaliar o fator "G" [WECHSLER. SCHELINI, 2006].

Ressaltando que o objetivo desta pesquisa foi o de investigar padrões cognitivos relacionados a habilidades espaciais, utilizou-se um subteste de uma Bateria de Provas de

Raciocínio – BPR5 [PRIMI. ALMEIDA, 2000], por entender-se que era o mais adequado em termos de avaliação de conteúdos (Raciocínio Espacial) e de viabilidade de aplicação ao grupo de voluntários participantes dos experimentos.

A BPR-5 – Bateria de Provas de Raciocínio é uma versão reduzida da Bateria de Provas de Raciocínio Diferencial (BPRD) de Almeida (1988), e é composta por cinco subtestes: Raciocínio Abstrato, Raciocínio Verbal, Raciocínio Numérico, Raciocínio Espacial e Raciocínio Mecânico. A escolha do teste BPR5-RE, feita pelo psicólogo, foi baseada na necessidade de medir especificamente o quesito habilidade espacial no grupo de sujeitos do experimento, não desclassificando outras habilidades que possam ter sido evocadas pelos estímulos apresentados. A Prova de Raciocínio Espacial (Prova RE) é composta de 20 itens nos quais existem séries de cubos tridimensionais em diferentes posições que indicam movimento. Os movimentos podem ser constantes, por exemplo, sempre para a direita, ou alternados, por exemplo, para esquerda e para cima. Por meio da análise das diferentes faces pode-se descobrir o cubo que se seguiria se o movimento descoberto fosse aplicado ao último cubo da série, como mostra a figura 16. Existem cinco alternativas de resposta e o tempo limite de execução é de 8 minutos [PRIMI. ALMEIDA, 2000].



Figura 16 – Exemplo de item do teste BPR5-RE  
Fonte: Primi e Almeida, 2000

Muito embora o estudo das Inteligências Múltiplas (Gardner, 1994) tenha surgido como uma contraposição à Psicometria, o autor considera que as descobertas psicométricas fornecem, como no estudo das inteligências espaciais (considerado como não verbal) e lingüísticas (considerada habilidade verbal), indicações persuasivas de que estas duas faculdades têm na melhor das hipóteses uma correlação fraca [GARDNER, 2001]. Desta maneira, os resultados dos testes psicológicos (BPR5-RE) aplicados aos sujeitos dos experimentos, para esta tese, serviram como apoio ao entendimento e interpretação dos resultados obtidos pela eletroencefalografia.

Nesta tese, não houve a preocupação de discutir as questões controversas da Psicometria, relacionadas a questões de eficiência de medidas integrais de QI, nem sua suposta relação com interpretações de valor sobre níveis ou tipos de inteligência, uma vez que

estas são considerações que se alteram, em cada cultura, ou mesmo em cada tempo histórico. A Psicometria nesta tese não será vista como um modelo teórico, mas como um instrumento de suporte à busca de conhecimento multidisciplinar, na área da informática na educação, para indicar caminhos experimentais capazes de apontar padrões observáveis de atividades cognitivas.

## 4 RESULTADOS

A proposta para o experimento deste projeto de tese alavancou a necessidade de conhecimentos multidisciplinares, incluindo a área das Neurociências (neurofisiologia), eletromagnetismo, eletroencefalografia (aquisição e condicionamento de sinais bioelétricos – Engenharia Biomédica), Ciências Cognitivas (Psicologia Cognitiva Experimental e Métrica – Psicométrica), modelagem matemática e estatística, além do entendimento que estas áreas podem fornecer como suporte à Educação.

Como a proposta inicial foi o desenvolvimento de metodologia experimental para a observação, quantificação e interpretação de evidências neuronais – sinais de eletroencefalografia - relacionados ao processo cognitivo humano, em particular relacionado ao processo de raciocínio espacial, com base em instrumentos teóricos e tecnológicos das Neurociências e das Ciências Cognitivas, para uso na área da pesquisa educacional, visando contribuir para identificação de diferentes perfis de estudantes, para diferentes áreas do conhecimento, entendemos que o objetivo foi alcançado.

O estudo para alcançar os objetivos propostos iniciou com um projeto para investigação sobre o método de coleta de sinais cerebrais e posterior processamento de dados. Importante ressaltar que o uso do equipamento de eletroencefalografia para coletar dados de sinais elétricos cerebrais resultantes de processos cognitivos evocados por estímulos específicos somente se faz pertinente e é significativo se forem conhecidos os parâmetros de construção e condicionamento de sinal, próprios de cada instrumento. Como resultado deste estudo inicial desenvolveu-se o equipamento EEG (eletroencefalógrafo) com tecnologia *National Instrument*, no Laboratório de Biosinais – UCS\_CARVI [CARRA, 2007] (ANEXO 2) e o mesmo foi calibrado e validado por outros experimentos prévios ao experimento de tese, que constituíram a base dos conhecimentos sobre eletroencefalografia adquiridos pelo grupo, conforme recomendações feitas por Steven Luck (2005).

O EEG foi desenvolvido em hardware (parte de aquisição do sinal analógico) e foi utilizado o sistema LabVIEW para o tratamento dos dados digitalizados, que gerou ótimos resultados para o conjunto completo. Desta maneira pode-se garantir as condições de coleta dos sinais bem como certificar-se dos valores medidos ao final do processo. Ainda, em função da possibilidade de armazenagem dos dados, foi criado um banco de dados dos sinais coletados no experimento que poderão servir a futuras intervenções para novas modelagens matemáticas.

Os experimentos realizados com este equipamento foram publicados anteriormente por outros renomados cientistas e neurocientistas [LUCK, 2005], [GUIZHI, 2006] e a repetição dos mesmos pelo grupo pesquisador tiveram como objetivos a aquisição de conhecimento sobre o fenômeno e sobre o funcionamento do instrumento de eletroencefalografia. Também como resultados prévios que somaram-se à modelagem da metodologia final aplicada, foi identificada a necessidade de construção de um ambiente isolado magneticamente, como é o caso da Gaiola de Faraday [OTT, 1988], [HAYT, 2003], permitindo a realização das coletas de sinais elétricos cerebrais de baixa frequência e amplitude, minimizando a presença de ruídos eletromagnéticos interferentes significativamente no sinal coletado.

A partir dos ensaios preliminares houve a certificação sobre inúmeras recomendações da literatura acerca dos procedimentos básicos de coleta de sinal com os fatores envolvidos, tais como: nível de ansiedade dos sujeitos do experimento, estado de humor, estado de sono e fome, limpeza da pele no local que se posiciona o eletrodo, tempo de duração da coleta do sinal, hora do dia da coleta, nível de iluminação e umidade, além dos ruídos característicos do ambiente. Os ruídos, no entanto, podem ser controlados quando o experimento é realizado dentro da gaiola.

Os resultados dos experimentos anteriores ao experimento de tese e que envolveram o grupo de pesquisa do Laboratório de Biosinais da UCS, professores pesquisadores da UFRGS e da UFCSPA, e que permitiram o afinamento da metodologia aplicada no experimento final, foram publicados [SPINDOLA at al., 2007], [SPINDOLA at al., 2007a], [BALBINOT at al., 2008], [SPINDOLA at al., 2008], [SPINDOLA at al., 2009], [BACK at al., 2009] e encontram-se anexos a esta tese.

Como o princípio básico da metodologia aplicada ao experimento de tese foi realizar investigação sobre as possíveis diferenças nas habilidades cognitivas espaciais entre diferentes perfis cognitivos de estudantes de diferentes áreas do conhecimento, o experimento constituiu-se da visualização de imagens, pelos sujeitos do experimento, enquanto o sinal elétrico cerebral foi medido e gravado pelo eletroencefalógrafo. Assim, a técnica de Projeto de Experimentos permitiu a modelagem do experimento contemplando as relações entre as variáveis mais significativas do processo: medir **energia** nos diferentes pontos do escalpo, que representam partes do encéfalo onde ocorrem as alterações do sinal cerebral quando estímulos visuais são oferecidos; medir **energia** durante os intervalos de tempo onde ocorrem alterações relacionadas ao evento e correlacionar estas medidas entre os diferentes participantes do experimento, bem como buscar associá-los em diferentes áreas de conhecimento, analisando a variância entre as médias de sinal de cada participante. Ainda, foi

possível avaliar a principal **componente de frequência** presente no intervalo do sinal cerebral medido de cada participante durante o experimento e detalhadamente, durante todos os intervalos de tempo e em cada ponto do escalpo. Os resultados destas relações são apresentados no item 4.1 a seguir.

Na modelagem do experimento e como fator da metodologia proposta recolheram-se dados relativos às respostas verbais dos voluntários para cada estímulo apresentado (par de imagens projetadas em 3D e rotacionadas). Estes dados foram utilizados como indicadores de apoio às conclusões sobre os processos de demanda de sinal cerebral de forma diferenciada em cada ponto do escalpo, em cada intervalo de tempo, para cada participante e entre participantes. Também são dados pertinentes ao experimento e que serviram de apoio a diferenciação entre as habilidades cognitivas relacionadas ao raciocínio espacial de diferentes áreas de conhecimento, os resultados obtidos pela bateria de Provas de Raciocínio – subteste RE (Raciocínio Espacial) – BPR5.

#### 4.1 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados apresentados a seguir seguem o modelo da técnica de projeto de experimentos e são resultantes da Análise de Variância – UNIVARIATE (extraídas através do software SPSS) sobre os valores de energia e frequência obtidos durante o processo de coleta de dados pelo eletroencefalógrafo. Os dados foram analisados a um nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ). As variáveis (fatores) estudadas no experimento de tese e que foram analisadas são: **energia e frequência** como **variáveis dependentes; pontos no escalpo (8 níveis), faixas de tempo (4 níveis), tipos de estímulos (6 níveis), sexo (2 níveis), área de conhecimento (2 níveis), participantes (40 níveis)** como **variáveis independentes e legendadas como segue:**

- 1) áreas de conhecimento: **AE**:científico-tecnológica e **AH**:humanas-sociais
- 2) gênero: **F**: feminino e **M**: masculino
- 3) tipo de estímulo: Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6
- 4) pontos no escalpo: T3, P3, F3, PF1,T4, P4, F4 e PF2.
- 5) faixas de tempo: 0-200ms, 200-400ms, 400-600ms e 600-800ms
- 6) participantes: PE1..10 (área exatas e tecnológicas - 10 homens)
  - PH11..20 (área humanas e sociais – 10 homens)
  - PE21...30 (área exatas e tecnológicas – 10 mulheres) e
  - PH31..40 (área humanas e sociais – 10 mulheres).

Os resultados apresentados nos itens 4.1.1 e 4.1.2 correlacionam pontos no escalpo (8 níveis), faixas de tempo (4 níveis), tipos de estímulos (6 níveis) e participantes (20 níveis – considerou-se este fator de forma não agrupada em áreas em função da alta variabilidade dos sinais). Desta forma, as variáveis áreas de conhecimento e sexo não são correlacionadas diretamente nesta investigação.

O item 4.1.3 apresenta as resultantes da variável dependente frequência, referindo-se ao principal componente de frequência identificado no intervalo de tempo medido. Nos itens 4.1.4 e 4.1.5 estão relacionadas as respostas advindas de questionamento verbal e por teste psicológico relativas ao experimento.

As tabelas apresentadas nos itens 4.1.1 e 4.1.2 foram extraídas do software SPSS e foram mantidas na sua forma original, mostrando valores com 3 (três) decimais, porém para efeitos de precisão devem ser considerados apenas duas (2) decimais.

#### 4.1.1 Análise de Variância por pontos no escalpo para a variável dependente Energia

##### 4.1.1.1 *Univariate Analysis of Variance*: período 0-200 ms do grupo masculino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 0-200 ms;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,132. O quadro 3 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1413389.090(a)	159	8889.240	1.915	.000
Intercept	6882829.392	1	6882829.392	1482.458	.000
Participantes	498880.795	19	26256.884	5.655	.000
Pontos	181905.606	7	25986.515	5.597	.000
Participantes * Pontos	732602.689	133	5508.291	1.186	.089
Error	3714279.745	800	4642.850		
Total	12010498.228	960			
Corrected Total	5127668.835	959			

a R Squared = .276 (Adjusted R Squared = .132)

Quadro 3 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino na faixa 0-200 ms  
Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 0-200 ms (Sig. = 0,089 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 0-200 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes, para todas as figuras, **não** foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 0-200 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 0-200 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 17 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 0-200 ms, para o sexo masculino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

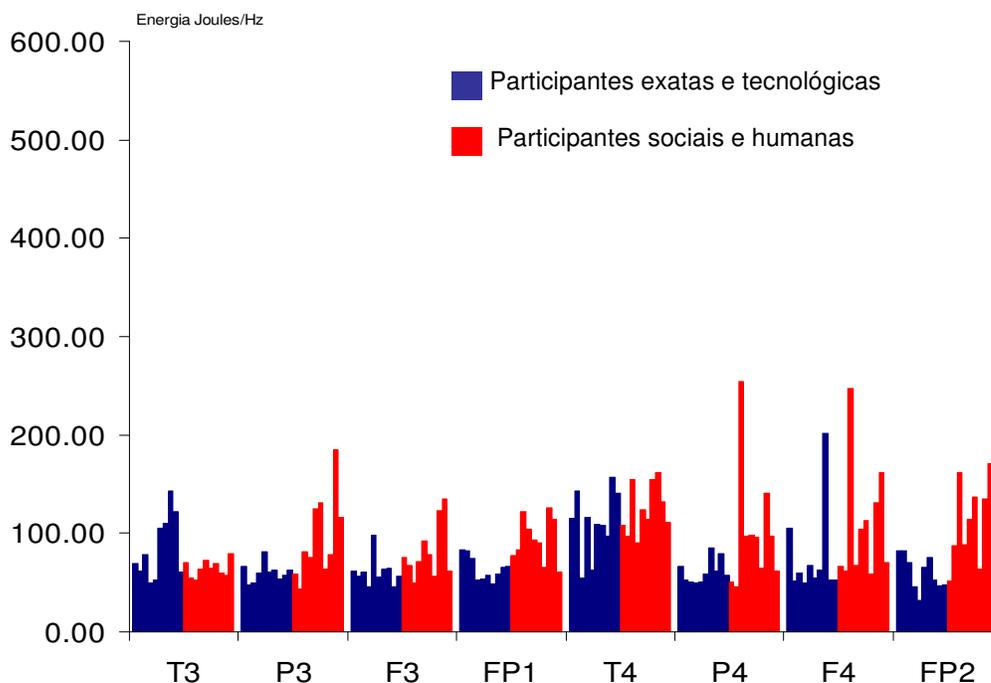


Figura 17- Média de energia no período de 0-200 ms para o sexo masculino  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.2 Univariate Analysis of Variance: período 200-400ms do grupo masculino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 200-400 ms;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,169. O quadro 4 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1376157.306(a)	159	8655.077	2.225	.000
Intercept	6303654.310	1	6303654.310	1620.540	.000
Participantes	476730.535	19	25091.081	6.450	.000
Pontos	234042.251	7	33434.607	8.595	.000
Participantes * Pontos	665384.520	133	5002.891	1.286	.023
Error	3111878.139	800	3889.848		
Total	10791689.754	960			
Corrected Total	4488035.444	959			

a R Squared = .307 (Adjusted R Squared = .169)

Quadro 4 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino na faixa 200-400 ms  
Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 200-400 ms (Sig. = 0,023 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 200-400ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 200-400ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 200-400ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 18 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 200-400 ms, para o sexo masculino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) para cada um

dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

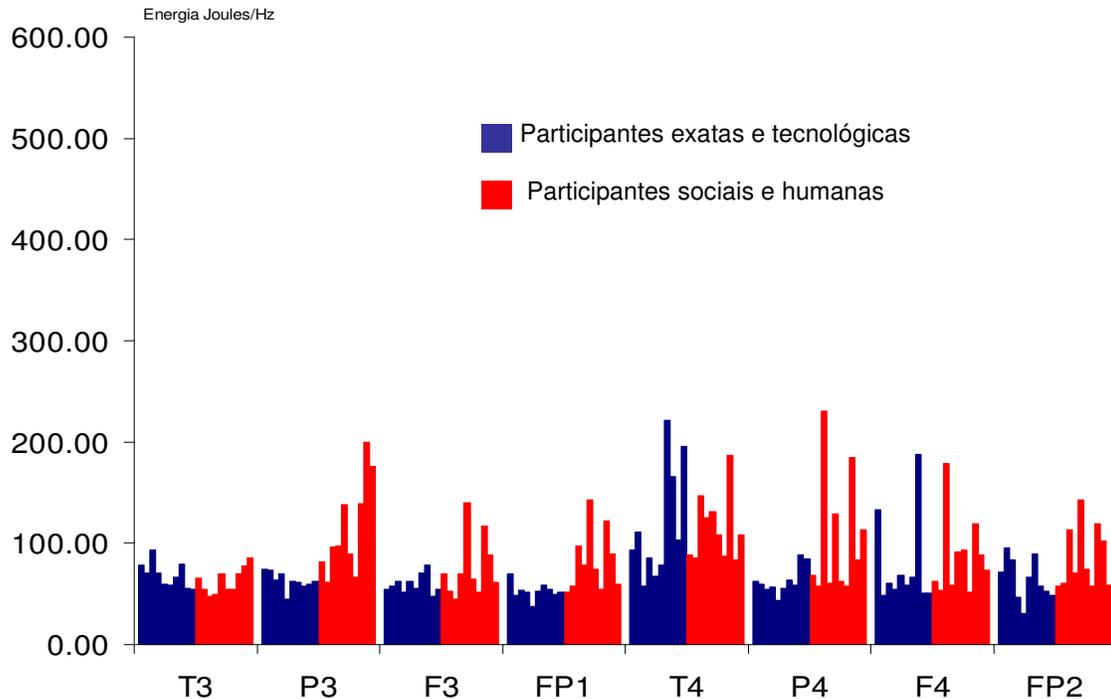


Figura 18 - Média de energia no período de 200-400 ms para o sexo masculino  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.3 *Univariate Analysis of Variance*: período 400-600 ms do grupo masculino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 400-600 ms;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com  $R^2$  ajustado em 0,377. O quadro 5 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6094492.669(a)	159	38330.143	4.653	.000
Intercept	13052910.622	1	13052910.622	1584.359	.000
Participantes	2186204.270	19	115063.383	13.966	.000
Pontos	1507784.570	7	215397.796	26.145	.000
Participantes * Pontos	2400503.829	133	18048.901	2.191	.000
Error	6590885.271	800	8238.607		
Total	25738288.562	960			
Corrected Total	12685377.940	959			

a R Squared = .480 (Adjusted R Squared = .377)

Quadro 5 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino na faixa 400-600 ms  
Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 400-600 ms (Sig. = 0,000 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 400-600 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 400-600 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 400-600 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 19 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 400-600 ms, para o sexo masculino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

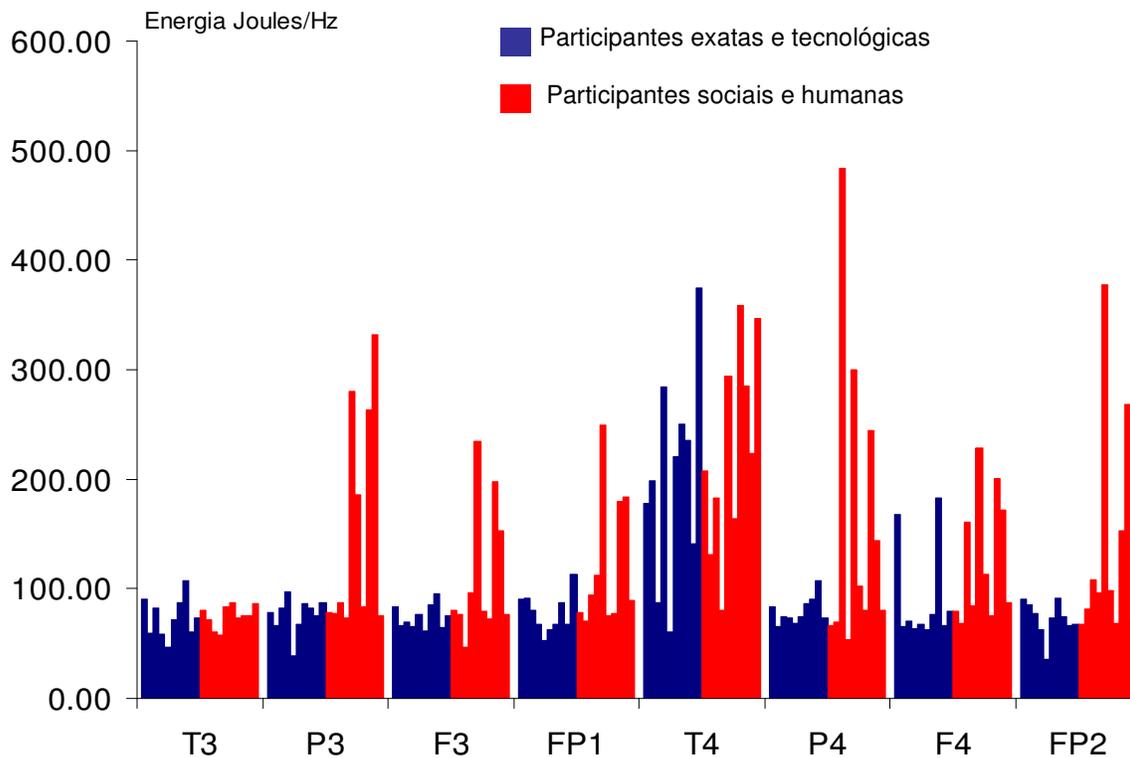


Figura 19 - Média de energia no período de 400-600 ms para o sexo masculino  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.4 Univariate Analysis of Variance: período 600-800 ms do grupo masculino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 600-800 ms;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,444. O quadro 6 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6985902.485(a)	159	43936.494	5.821	.000
Intercept	13836900.608	1	13836900.608	1833.204	.000
Participantes	2438763.299	19	128355.963	17.005	.000
Pontos	1826626.746	7	260946.678	34.572	.000
Participantes * Pontos	2720512.441	133	20454.981	2.710	.000
Error	6038345.593	800	7547.932		
Total	26861148.686	960			
Corrected Total	13024248.078	959			

a R Squared = .536 (Adjusted R Squared = .444)

Quadro 6 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino na faixa 600-800 ms

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 600-800 ms (Sig. = 0,000 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 600-800 ms em cada um dos pontos do escalpo de cada um dos participantes, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 600-800 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 600-800 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 20 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 600-800 ms, para o sexo masculino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

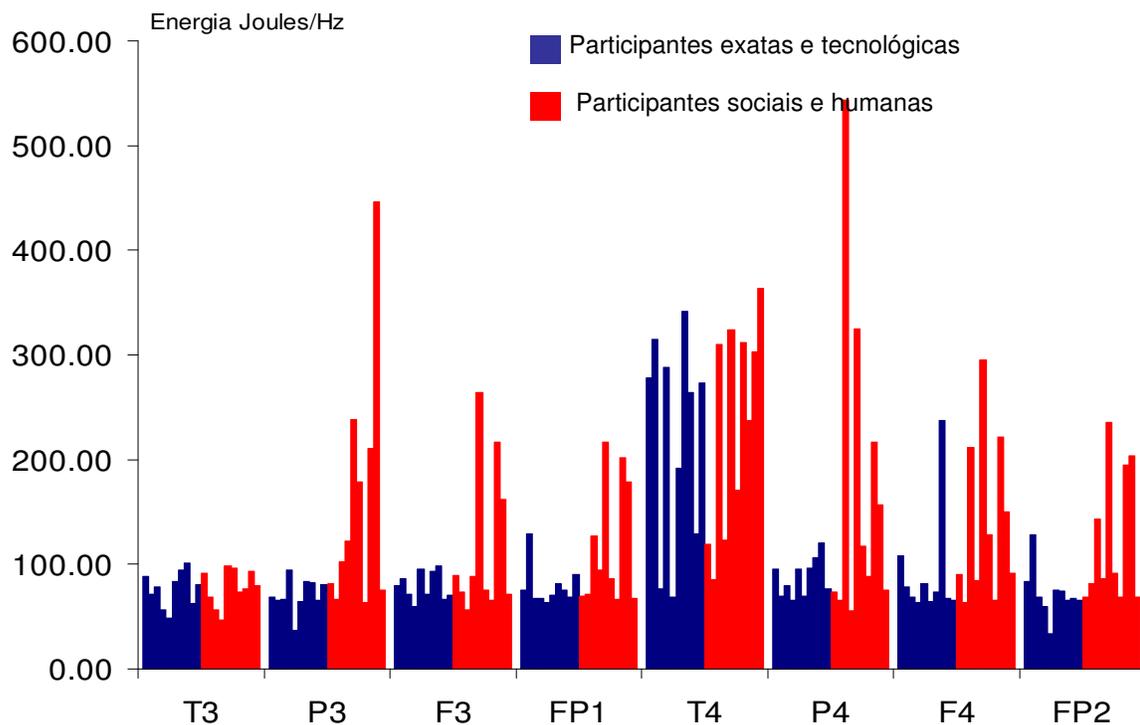


Figura 20 - Média de energia no período de 600-800 ms para o sexo masculino  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.5 Univariate Analysis of Variance: período 0-200ms, sexo masculino, área AE

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 0-200 ms;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,120. O quadro 7 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	419950.550(a)	79	5315.830	1.827	.000
Intercept	2508814.346	1	2508814.346	862.375	.000
Participantes	44297.375	9	4921.931	1.692	.089
Pontos	134285.842	7	19183.692	6.594	.000
Participantes * Pontos	241367.333	63	3831.228	1.317	.063
Error	1163677.234	400	2909.193		
Total	4092442.130	480			
Corrected Total	1583627.784	479			

a R Squared = .265 (Adjusted R Squared = .120)

Quadro 7 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AE na faixa 0-200 ms

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 0-200 ms (Sig. = 0,063 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 0-200 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes da área de ciências exatas e tecnológicas, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 0-200 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes**, a variância não é significativa estatisticamente (Sig. = 0,089 > 0,05), considerando o intervalo de 0-200 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 21 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 0-200ms, para participantes das áreas exatas e tecnológicas do sexo masculino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

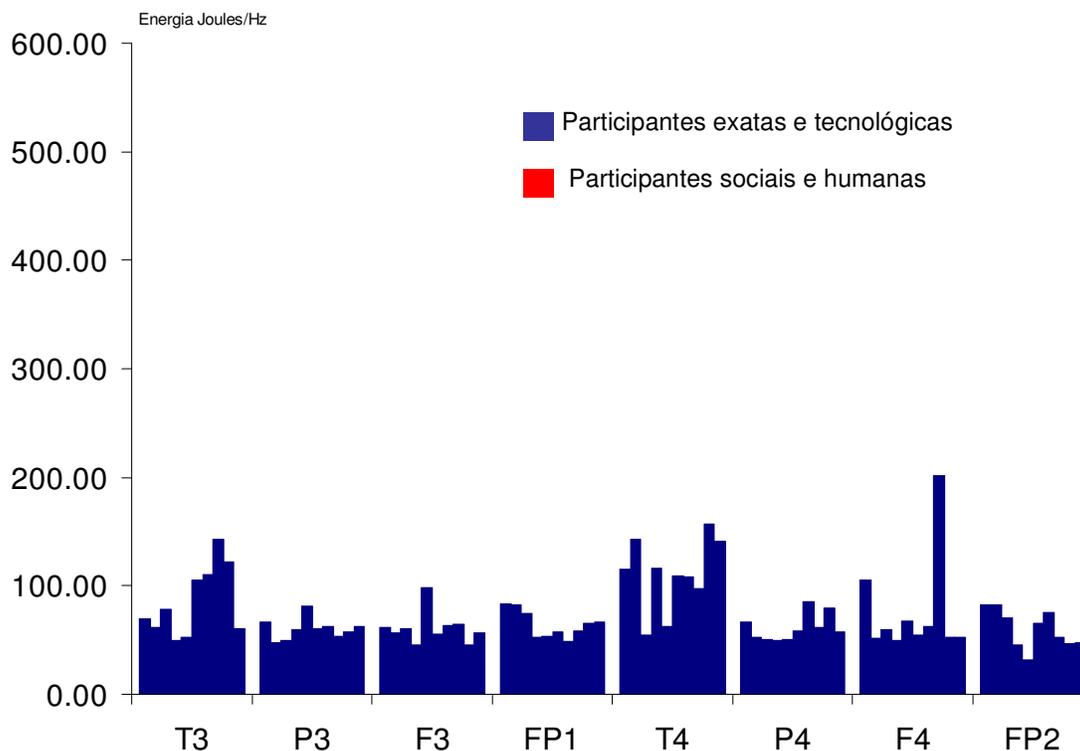


Figura 21 - Média de energia no período de 0-200 ms para o sexo masculino área AE  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.6 Univariate Analysis of Variance: período 200-400 ms, sexo masculino, área AE

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 200-400 ms;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,220. O quadro 8 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	514298.229(a)	79	6510.104	2.713	.000
Intercept	2416419.359	1	2416419.359	1006.876	.000
Participantes	70629.013	9	7847.668	3.270	.001
Pontos	174514.294	7	24930.613	10.388	.000
Participantes * Pontos	269154.921	63	4272.300	1.780	.001
Error	959966.559	400	2399.916		
Total	3890684.147	480			
Corrected Total	1474264.787	479			

a R Squared = .349 (Adjusted R Squared = .220)

Quadro 8 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AE na faixa 200-400 ms

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 200-400 ms (Sig. = 0,001 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 200-400 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 200-400 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,001 < 0,05), considerando o intervalo de 200-400 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 22 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 200-400 ms, para participantes das áreas exatas e tecnológicas do sexo masculino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

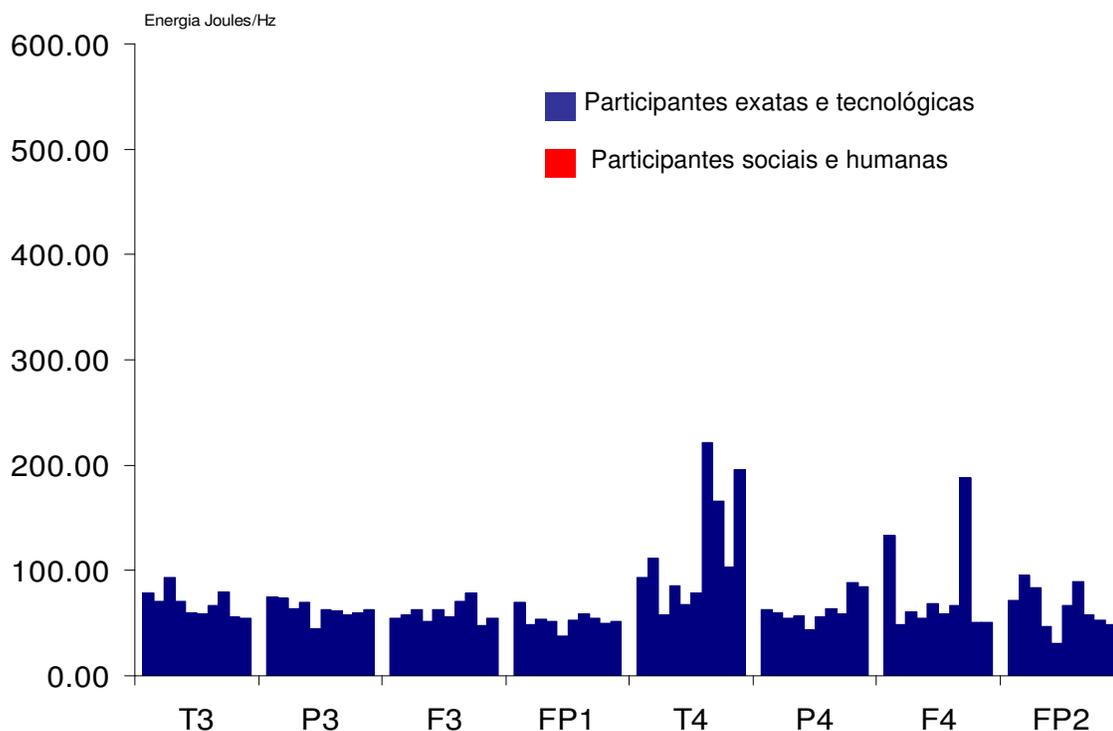


Figura 22 - Média de energia no período de 200-400 ms para o sexo masculino área AE  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.7 Univariate Analysis of Variance: período 400-600ms, sexo masculino, área AE

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 400-600 ms;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,433. O quadro 9 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1494250.536(a)	79	18914.564	5.625	.000
Intercept	4199457.731	1	4199457.731	1248.938	.000
Participantes	168333.417	9	18703.713	5.563	.000
Pontos	836583.382	7	119511.912	35.543	.000
Participantes * Pontos	489333.738	63	7767.202	2.310	.000
Error	1344969.090	400	3362.423		
Total	7038677.358	480			
Corrected Total	2839219.627	479			

a R Squared = .526 (Adjusted R Squared = .433)

Quadro 9 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AE na faixa 400-600 ms  
Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 400-600 ms (Sig. = 0,000 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 400-600 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 400-600 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 400-600 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 23 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 400-600ms, para participantes das áreas exatas e tecnológicas do sexo masculino, em todos

os pontos do escalpo (eixo x) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

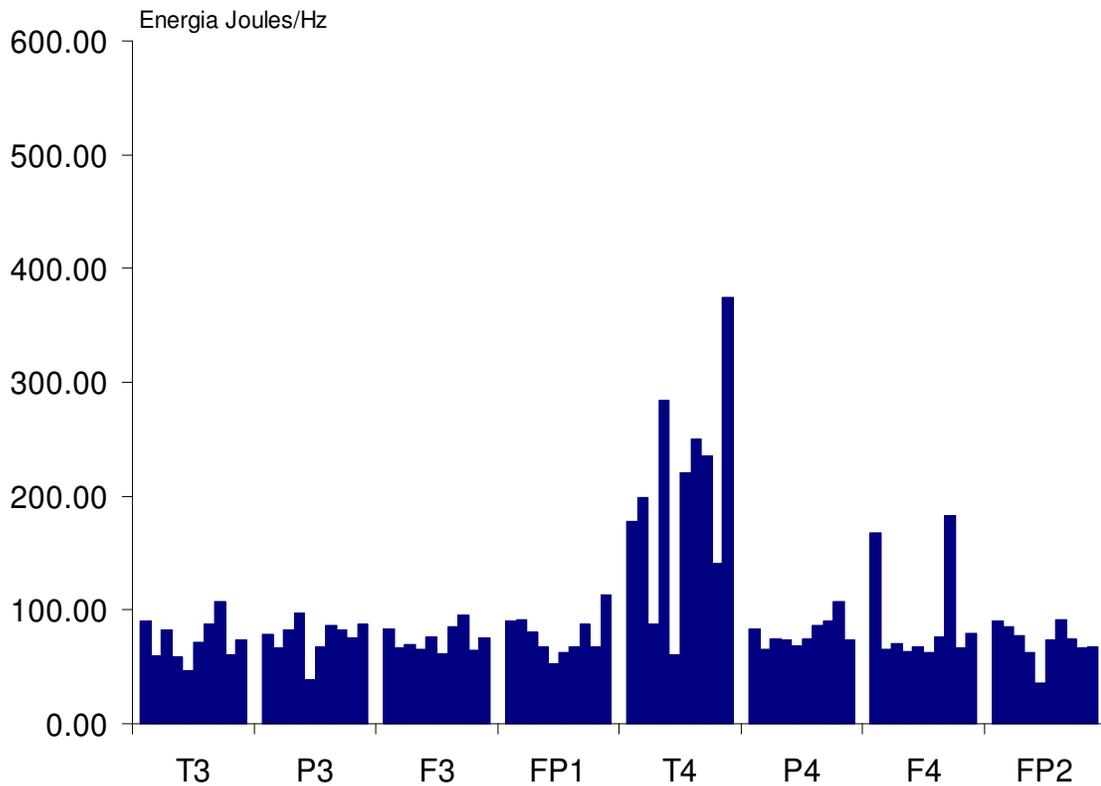


Figura 23 - Média de energia no período de 400-600 ms para o sexo masculino área AE  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.8 *Univariate Analysis of Variance*: período 600-800 ms, sexo masculino, área AE

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- a) variável ou fator faixa de tempo: 600-800 ms;
- b) variável ou fator sexo: masculino;
- c) fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,377. O quadro 10 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1887570.048(a)	79	23893.292	4.670	.000
Intercept	4546710.614	1	4546710.614	888.635	.000
Participantes	192982.475	9	21442.497	4.191	.000
Pontos	1095178.602	7	156454.086	30.578	.000
Participantes * Pontos	599408.971	63	9514.428	1.860	.000
Error	2046604.550	400	5116.511		
Total	8480885.212	480			
Corrected Total	3934174.598	479			

a R Squared = .480 (Adjusted R Squared = .377)

Quadro 10 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AE na faixa 600-800 ms

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 600-800 ms (Sig. = 0,000 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 600-800 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 400-600 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 600-800 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 24 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 600-800 ms, para participantes das áreas exatas e tecnológicas do sexo masculino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

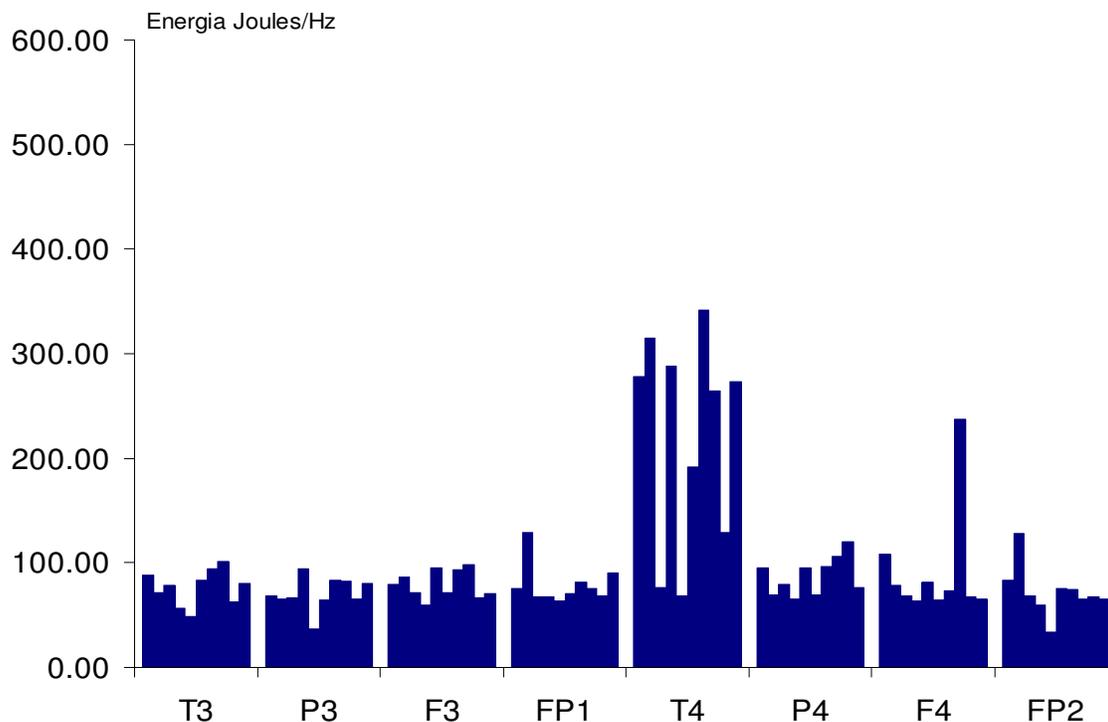


Figura 24 - Média de energia no período de 600-800 ms para o sexo masculino área AE  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.9 Univariate Analysis of Variance: período 0-200ms, sexo masculino, área AH

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 0-200 ms;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,101. O quadro 11 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	846359.926(a)	79	10713.417	1.680	.001
Intercept	4521093.661	1	4521093.661	709.024	.000
Participantes	307504.805	9	34167.201	5.358	.000
Pontos	140396.130	7	20056.590	3.145	.003
Participantes * Pontos	398458.991	63	6324.746	.992	.498
Error	2550602.511	400	6376.506		
Total	7918056.098	480			
Corrected Total	3396962.437	479			

a R Squared = .249 (Adjusted R Squared = .101)

Quadro 11 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AH na faixa 0-200 ms  
Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 0-200 ms (Sig. = 0,498 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 0-200 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes das áreas de ciências humanas e sociais, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,003 < 0,05), para o intervalo de 0-200 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes**, a variância é significativa estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 0-200 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 25 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 0-200 ms, para participantes das áreas de ciências humanas e sociais do sexo masculino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

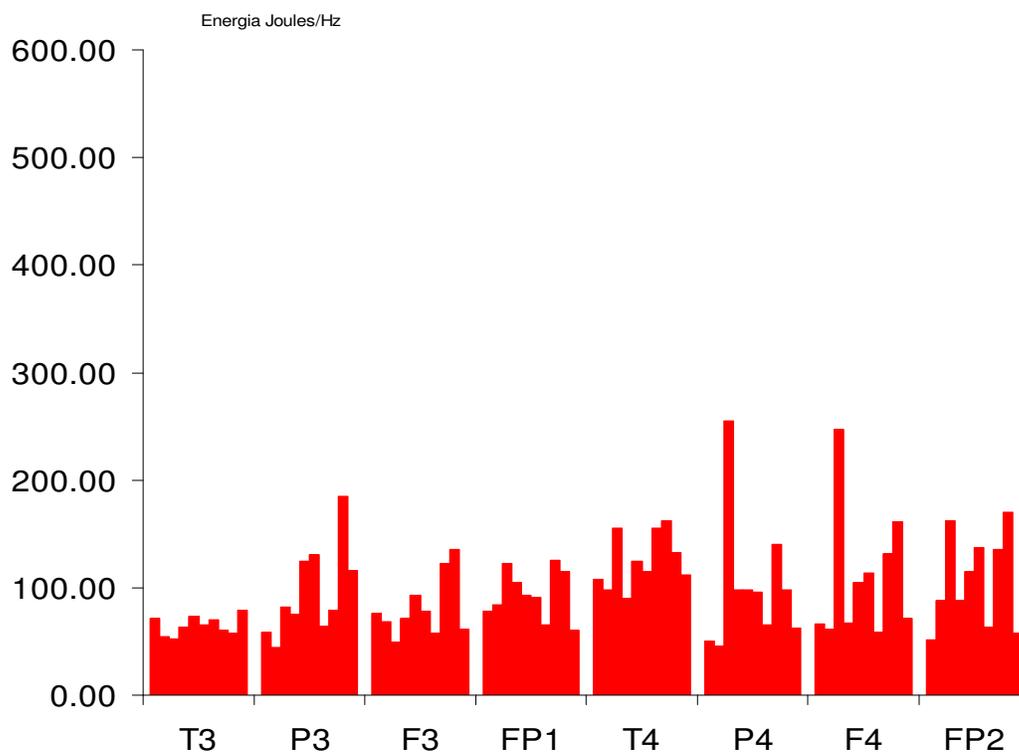


Figura 25 - Média de energia no período de 0-200 ms para o sexo masculino área AH  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.10 Univariate Analysis of Variance: período 200-400ms, sexo masculino, área AH

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 200-400 ms;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,116. O quadro 12 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	764305.240(a)	79	9674.750	1.798	.000
Intercept	3984788.788	1	3984788.788	740.697	.000
Participantes	308547.684	9	34283.076	6.373	.000
Pontos	147384.823	7	21054.975	3.914	.000
Participantes * Pontos	308372.733	63	4894.805	.910	.670
Error	2151911.580	400	5379.779		
Total	6901005.607	480			
Corrected Total	2916216.820	479			

a R Squared = .262 (Adjusted R Squared = .116)

Quadro 12 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AH na faixa 200-400 ms

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 0-200 ms (Sig. = 0,670 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 200-400 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes das áreas de ciências humanas e sociais, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 200-400 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes**, a variância é significativa estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 200-400 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 26 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 200-400 ms, para participantes das áreas de ciências humanas e sociais do sexo masculino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

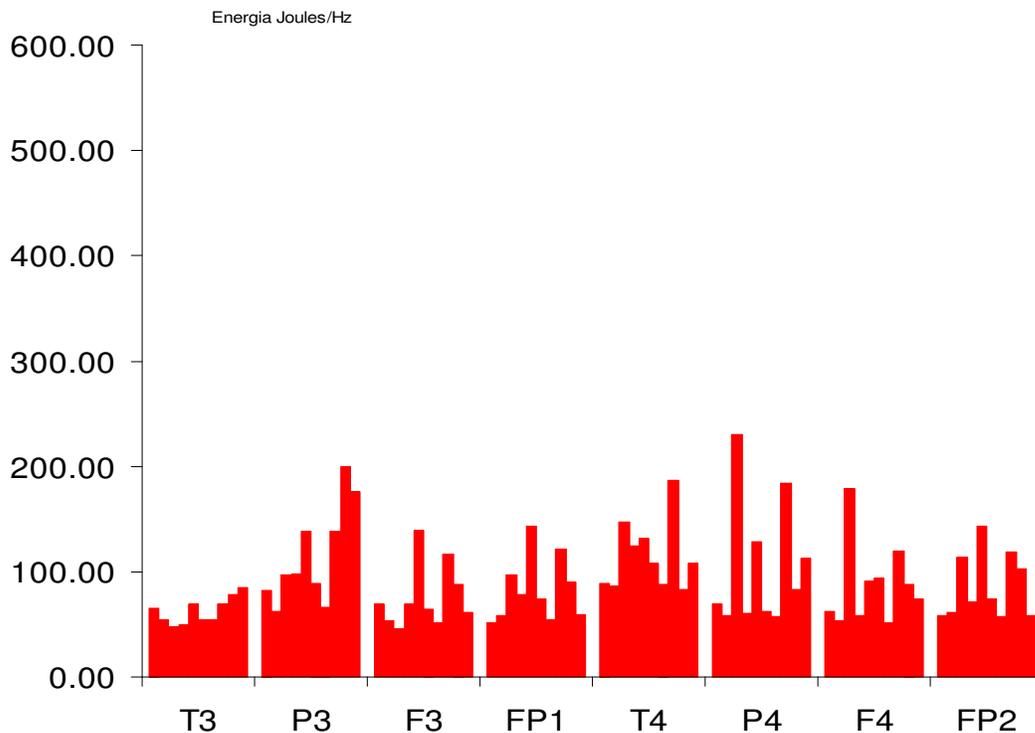


Figura 26 - Média de energia no período de 200-400ms para o sexo masculino área AH  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.11 Univariate Analysis of Variance: período 400-600 ms, sexo masculino, área AH

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 400-600 ms;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,327. O quadro 13 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4089313.150(a)	79	51763.458	3.947	.000
Intercept	9364381.874	1	9364381.874	714.032	.000
Participantes	1506941.870	9	167437.986	12.767	.000
Pontos	833172.542	7	119024.649	9.076	.000
Participantes * Pontos	1749198.738	63	27765.059	2.117	.000
Error	5245916.180	400	13114.790		
Total	18699611.204	480			
Corrected Total	9335229.330	479			

a R Squared = .438 (Adjusted R Squared = .327)

Quadro 13 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AH na faixa 400-600 ms

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 400-600 ms (Sig. = 0,000 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 400-600 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 400-600 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 400-600 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 27 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 400-600 ms, para participantes das áreas de ciências humanas e sociais do sexo masculino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

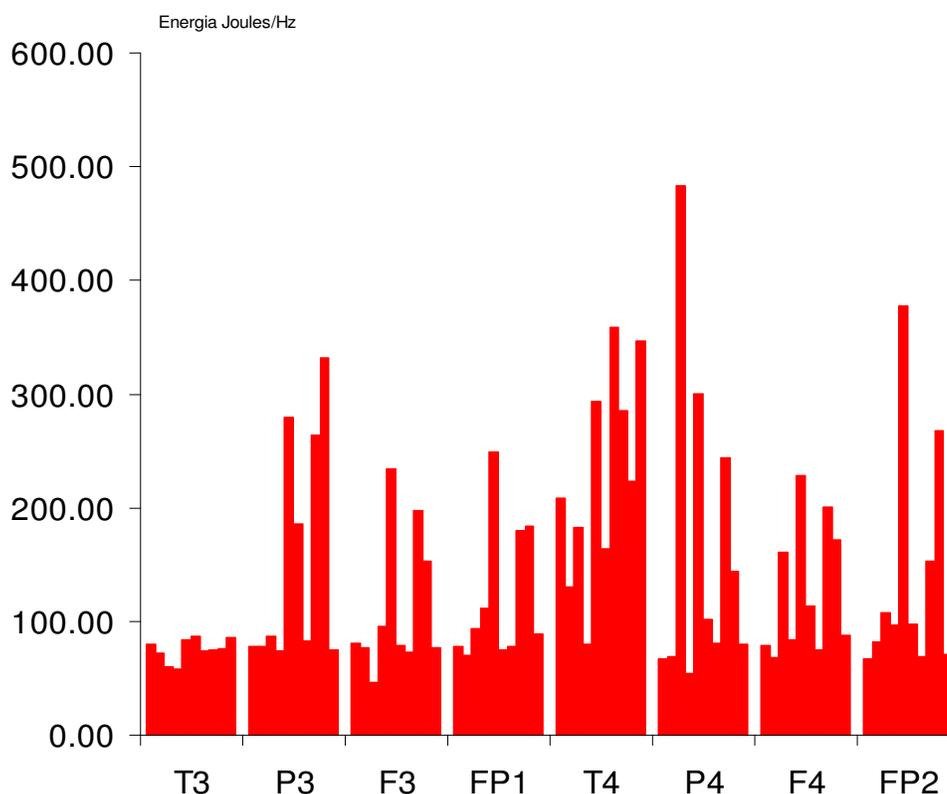


Figura 27 - Média de energia no período de 400-600 ms para o sexo masculino área AH  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.12 Univariate Analysis of Variance: período 600-800ms, sexo masculino, área AH

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 600-800 ms;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,444. O quadro 14 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4602338.379(a)	79	58257.448	5.838	.000
Intercept	9786184.052	1	9786184.052	980.643	.000
Participantes	1749786.766	9	194420.752	19.482	.000
Pontos	927624.607	7	132517.801	13.279	.000
Participantes * Pontos	1924927.006	63	30554.397	3.062	.000
Error	3991741.043	400	9979.353		
Total	18380263.475	480			
Corrected Total	8594079.423	479			

a R Squared = .536 (Adjusted R Squared = .444)

Quadro 14 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AH na faixa 600-800 ms

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 600-800 ms (Sig. = 0,000 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 600-800 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 600-800 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 600-800 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 28 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 600-800 ms, para participantes das áreas de ciências humanas e sociais do sexo masculino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

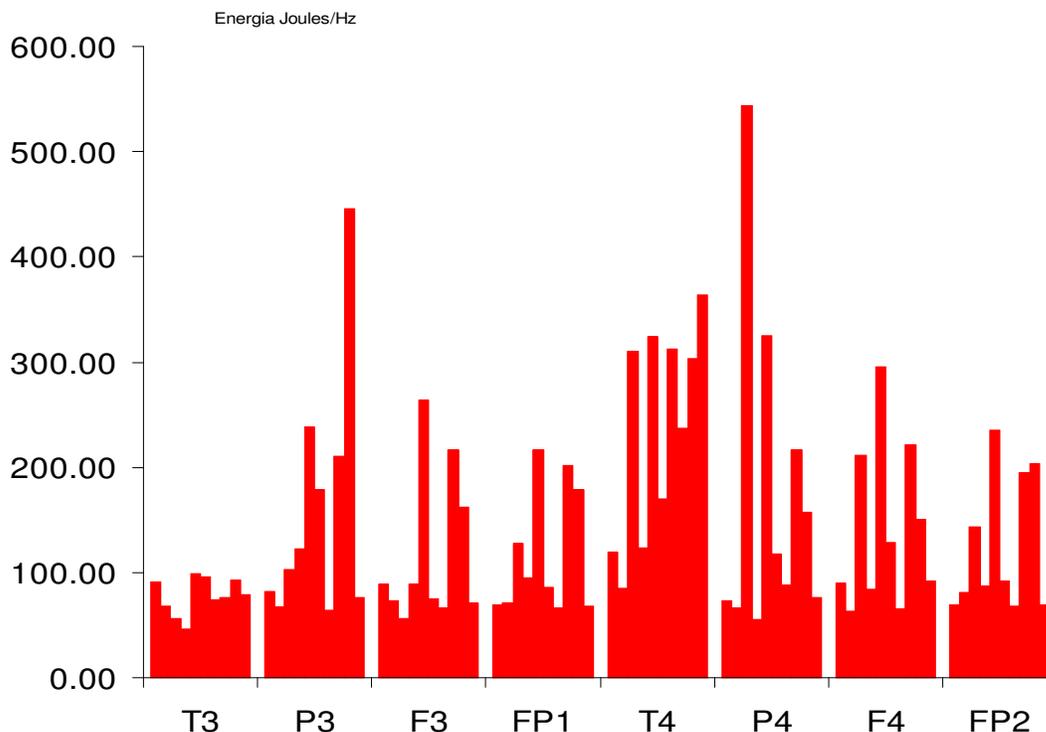


Figura 28 - Média de energia no período de 600-800 ms para o sexo masculino área AH  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.13 Univariate Analysis of Variance: período 0-200ms do grupo feminino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 0-200 ms;
- variável ou fator sexo: feminino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,274. O quadro 15 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1677034.879(a)	159	10547.389	3.271	.000
Intercept	6610704.603	1	6610704.603	2050.401	.000
Participantes	291345.950	19	15333.997	4.756	.000
Pontos	603761.926	7	86251.704	26.752	.000
Participantes * Pontos	781927.003	133	5879.150	1.823	.000
Error	2579282.121	800	3224.103		
Total	10867021.603	960			
Corrected Total	4256317.000	959			

a R Squared = .394 (Adjusted R Squared = .274)

Quadro 15 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - feminino na faixa 0-200 ms

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 0-200 ms (Sig. = 0,000 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 0-200 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05, para o intervalo de 0-200 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 0-200 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 29 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 0-200 ms, para o sexo feminino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

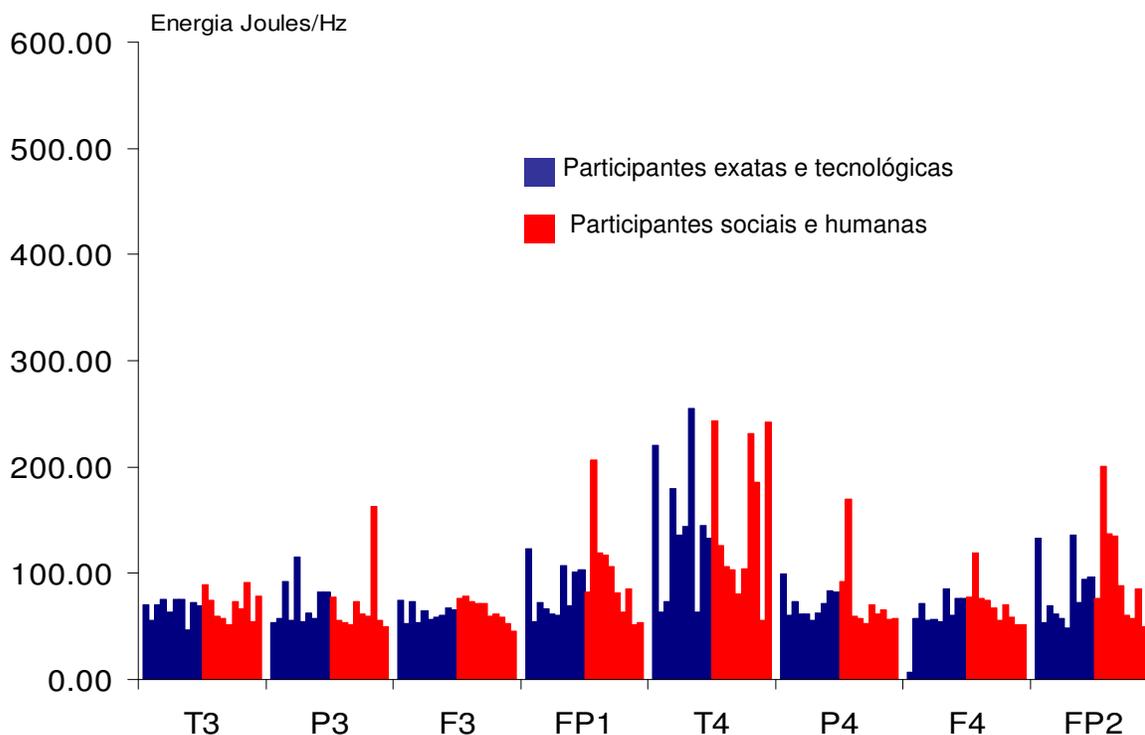


Figura 29 - Média de energia no período de 0-200 ms para o sexo feminino  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.14 Univariate Analysis of Variance: período 200-400ms do grupo feminino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 200-400 ms;
- variável ou fator sexo: feminino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,253. O quadro 16 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1364301.408(a)	159	8580.512	3.040	.000
Intercept	6362281.053	1	6362281.053	2253.769	.000
Participantes	292992.368	19	15420.651	5.463	.000
Pontos	482554.515	7	68936.359	24.420	.000
Participantes * Pontos	588754.525	133	4426.726	1.568	.000
Error	2258360.940	800	2822.951		
Total	9984943.400	960			
Corrected Total	3622662.347	959			

a. R Squared = .377 (Adjusted R Squared = .253)

Quadro 16 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - feminino na faixa 200-400 ms

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 200-400 ms (Sig. = 0,000 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 200-400 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 200-400 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 200-400 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 30 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 200-400 ms, para o sexo feminino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e

tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

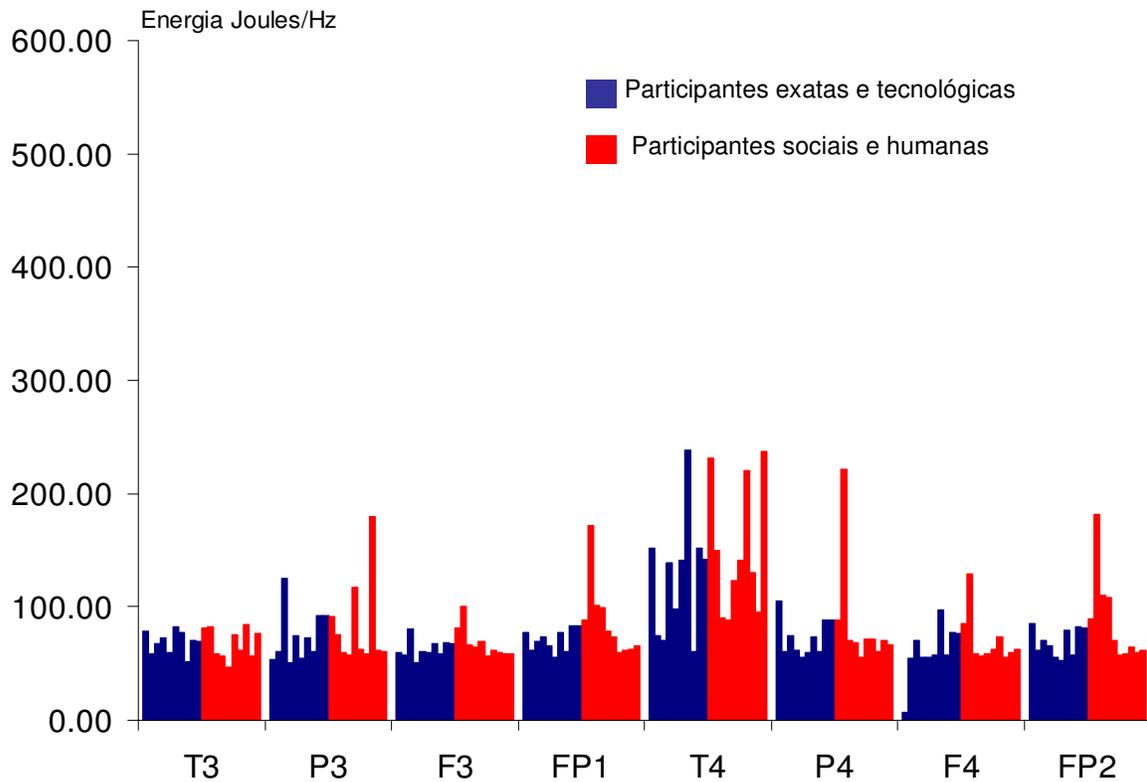


Figura 30 - Média de energia no período de 200-400 ms para o sexo feminino  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.15 Univariate Analysis of Variance: período 400-600ms do grupo feminino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 400-600 ms;
- variável ou fator sexo: feminino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,382. O quadro 17 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2589855.406(a)	159	16288.399	4.728	.000
Intercept	10197787.040	1	10197787.040	2960.147	.000
Participantes	441607.211	19	23242.485	6.747	.000
Pontos	1119983.459	7	159997.637	46.443	.000
Participantes * Pontos	1028264.737	133	7731.314	2.244	.000
Error	2756021.846	800	3445.027		
Total	15543664.293	960			
Corrected Total	5345877.253	959			

a R Squared = .484 (Adjusted R Squared = .382)

Quadro 17 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - feminino na faixa 400-600 ms

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 400-600 ms (Sig. = 0,000 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 400-600 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 400-600 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 400-600 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 31 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 400-600 ms, para o sexo feminino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

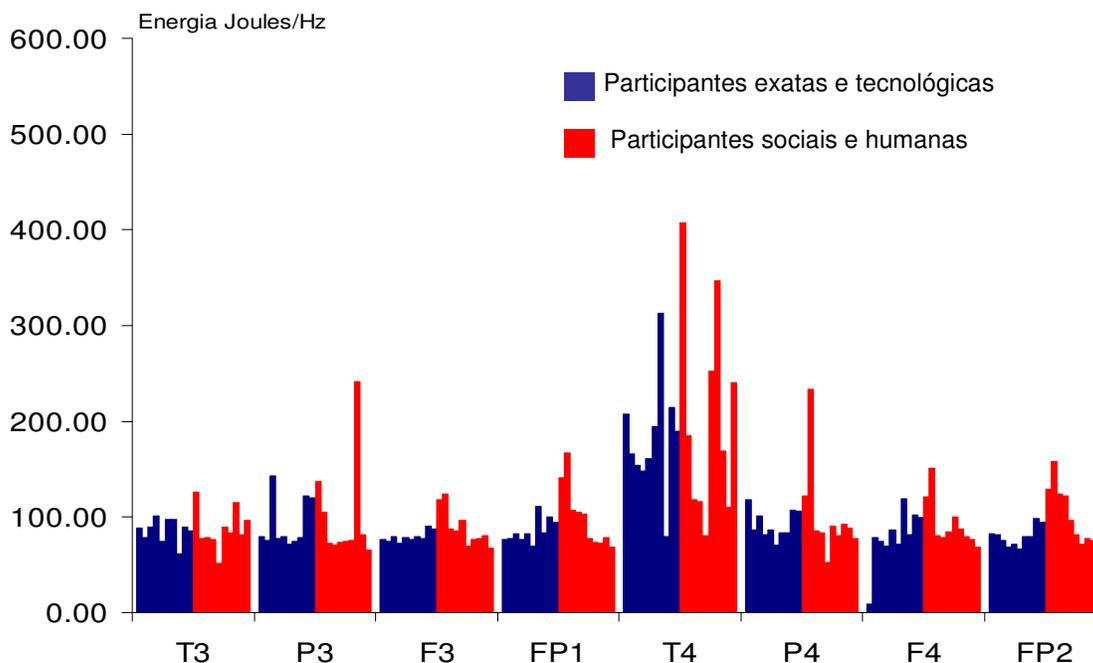


Figura 31 - Média de energia no período de 400-600 ms para o sexo feminino  
Fonte: o Autor

#### 4.1.1.16 Univariate Analysis of Variance: período 600-800ms do grupo feminino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator faixa de tempo: 600-800 ms;
- variável ou fator sexo: feminino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e pontos

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,362. O quadro 18 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2754847.885(a)	159	17326.087	4.422	.000
Intercept	10980055.986	1	10980055.986	2802.420	.000
Participantes	893876.005	19	47046.106	12.007	.000
Pontos	937007.255	7	133858.179	34.164	.000
Participantes * Pontos	923964.624	133	6947.102	1.773	.000
Error	3134449.512	800	3918.062		
Total	16869353.383	960			
Corrected Total	5889297.398	959			

a R Squared = .468 (Adjusted R Squared = .362)

Quadro 18 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - feminino na faixa 600-800 ms  
Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e pontos** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o intervalo de tempo 600-800 ms (Sig. = 0,000 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no tempo inicial de 600-800 ms em cada um dos pontos do escalpo dos participantes, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **pontos** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), para o intervalo de 600-800 ms, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando o intervalo de 600-800 ms e a apresentação de todas as figuras para os pontos estudados.

A figura 32 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no período de 600-800 ms, para o sexo feminino, em todos os pontos do escalpo (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

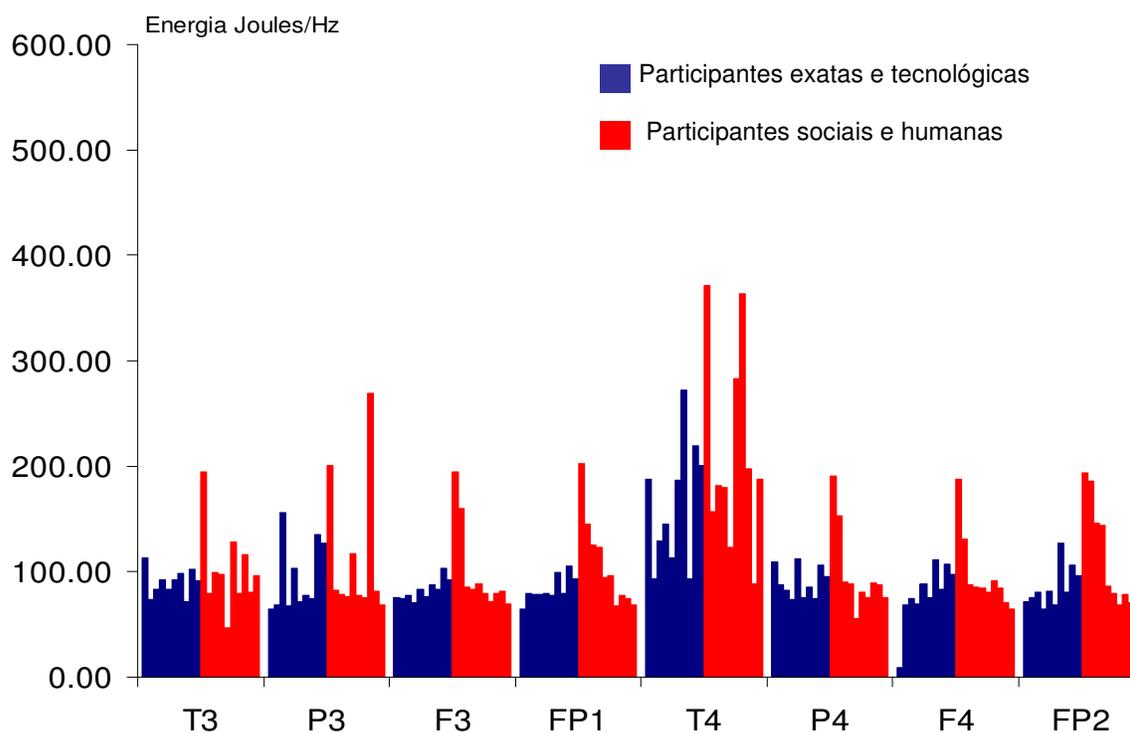


Figura 32 - Média de energia no período de 600-800 ms para o sexo feminino  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2 Análise de Variância por faixas de tempo para a variável dependente Energia

##### 4.1.2.1 Univariate Analysis of Variance: ponto T3 (temporal esquerdo) masculino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: T3;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,121. O quadro 19 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	155722.717(a)	79	1971.174	1.838	.000
Intercept	2567060.451	1	2567060.451	2394.144	.000
Participantes	83164.035	19	4377.054	4.082	.000
faixas	9091.940	3	3030.647	2.827	.038
Participantes * faixas	63466.742	57	1113.452	1.038	.405
Error	428889.812	400	1072.225		
Total	3151672.980	480			
Corrected Total	584612.529	479			

a R Squared = .266 (Adjusted R Squared = .121)

Quadro 19 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto T3

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto T3 (Sig. = 0,405 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto T3 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,038 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo T3, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto T3 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 33 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo T3, para o sexo masculino, ao longo do tempo de estimulação (800 ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes

(linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

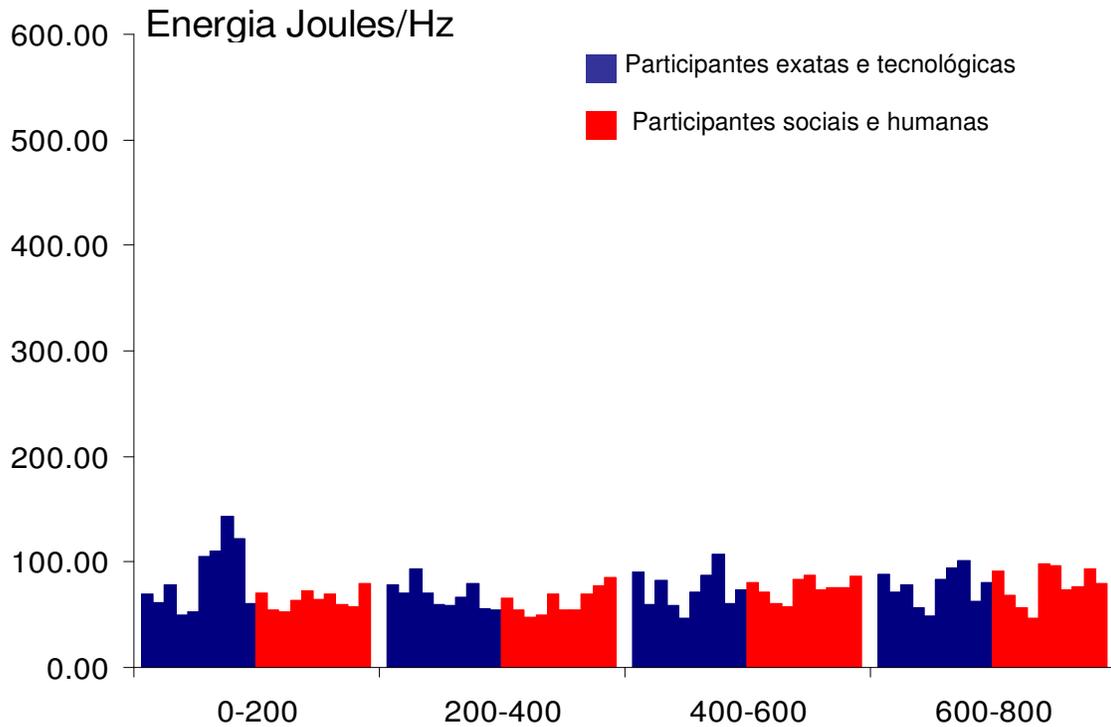


Figura 33 - Média de energia no ponto T3 masculino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.2 *Univariate Analysis of Variance*: ponto P3 (parietal esquerdo) masculino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: P3;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,199. O quadro 20 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2234320.377(a)	79	28282.536	2.502	.000
Intercept	4714107.721	1	4714107.721	417.020	.000
Participantes	1613927.314	19	84943.543	7.514	.000
faixas	125367.989	3	41789.330	3.697	.012
Participantes * faixas	495025.073	57	8684.650	.768	.889
Error	4521709.083	400	11304.273		
Total	11470137.180	480			
Corrected Total	6756029.459	479			

a R Squared = .331 (Adjusted R Squared = .199)

Quadro 20 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto P3

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto P3 (Sig. = 0,889 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto P3 ao longo do tempo, para todas as figuras não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,012 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo P3, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto P3 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 34 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo P3, para o sexo masculino, ao longo do tempo de estimulação (800 ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

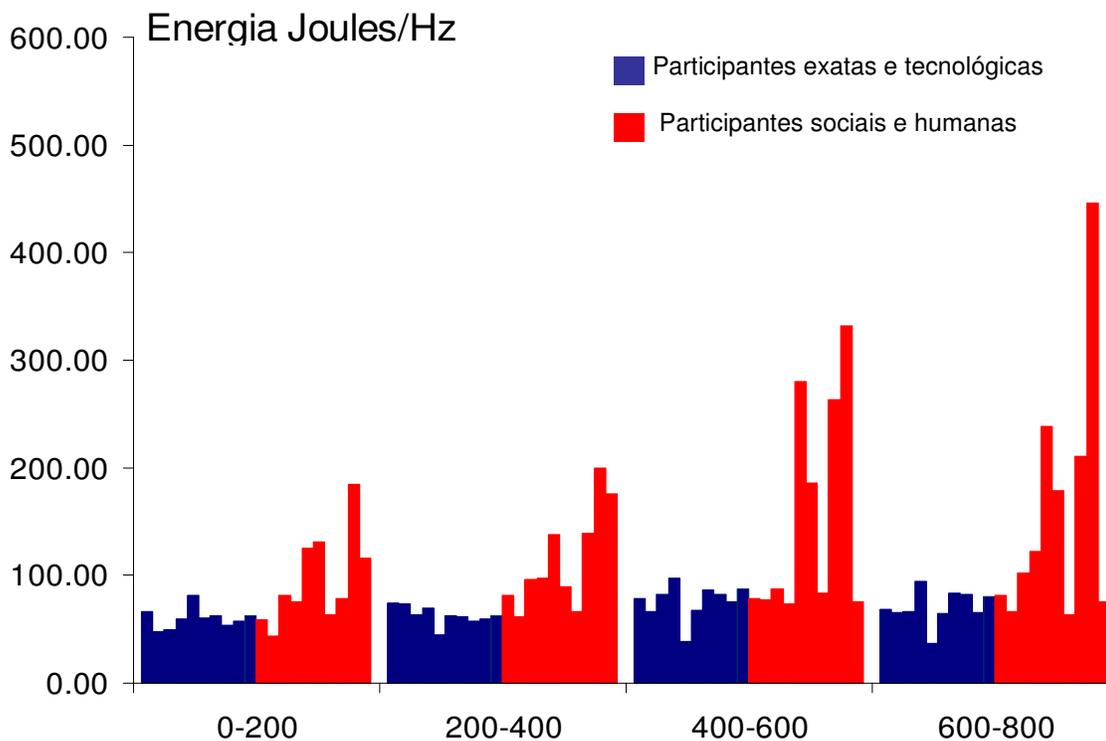


Figura 34 - Média de energia no ponto P3 masculino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.3 Univariate Analysis of Variance: ponto T4 (temporal direito) masculino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: T4;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,263. O quadro 21 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3707620.066(a)	79	46931.900	3.165	.000
Intercept	13806118.408	1	13806118.408	931.188	.000
Participantes	1410819.077	19	74253.636	5.008	.000
faixas	1329933.846	3	443311.282	29.900	.000
Participantes * faixas	966867.143	57	16962.581	1.144	.232
Error	5930537.720	400	14826.344		
Total	23444276.194	480			
Corrected Total	9638157.786	479			

a R Squared = .385 (Adjusted R Squared = .263)

Quadro 21 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto T4

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto T4 (Sig. = 0,232 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto T4 ao longo do tempo medido, para todas as figuras não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo T4, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto T4 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 35 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo T4, para o sexo masculino, ao longo do tempo de estimulação (800ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

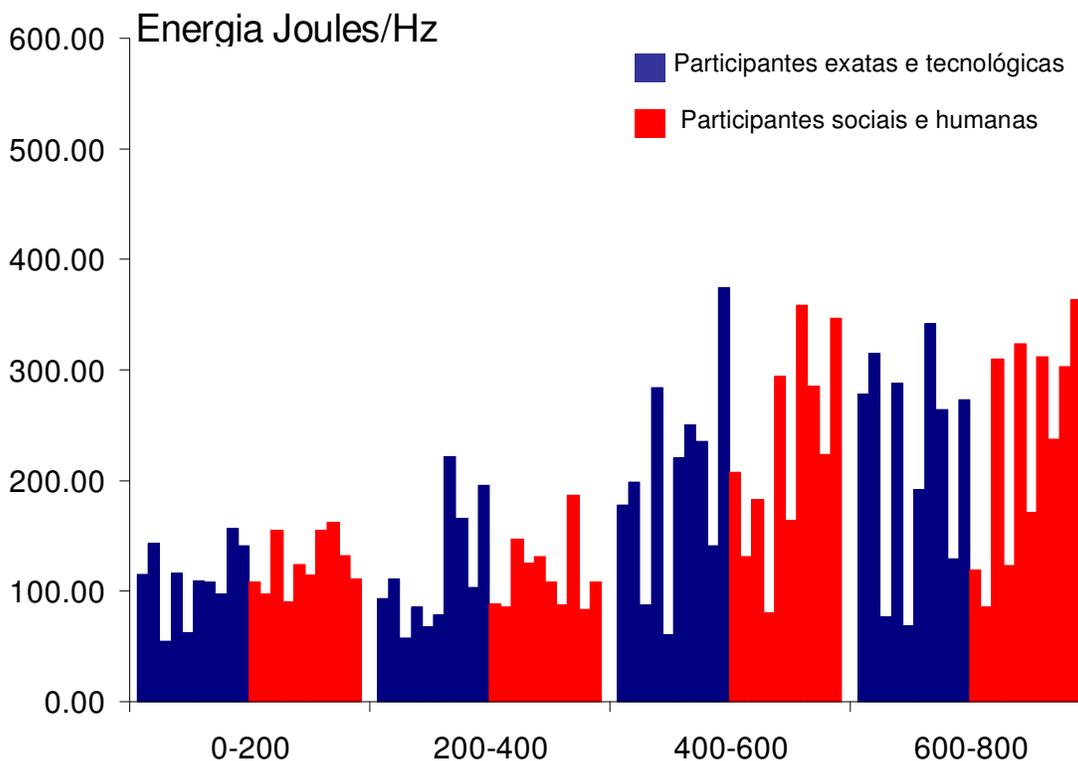


Figura 35 - Média de energia no ponto T4 masculino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.4 Univariate Analysis of Variance: ponto P4 (parietal direito) masculino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: P4;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,522. O quadro 22 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3549139.887(a)	79	44925.821	7.624	.000
Intercept	5183855.910	1	5183855.910	879.760	.000
Participantes	2718413.291	19	143074.384	24.281	.000
faixas	226821.444	3	75607.148	12.831	.000
Participantes * faixas	603905.152	57	10594.827	1.798	.001
Error	2356941.053	400	5892.353		
Total	11089936.850	480			
Corrected Total	5906080.940	479			

a R Squared = .601 (Adjusted R Squared = .522)

Quadro 22 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto P4

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto P4 (Sig. = 0,001 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto P4 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo P4, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto P4 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 36 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo P4, para o sexo masculino, ao longo do tempo de estimulação (800ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas

representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

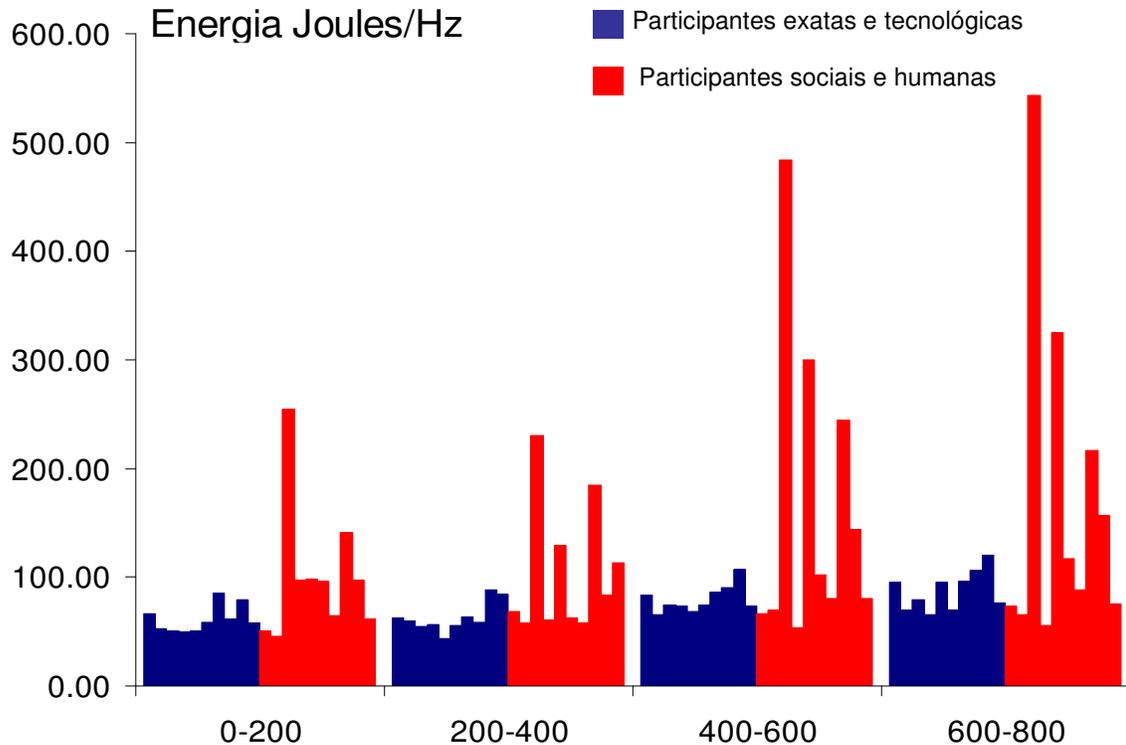


Figura 36 - Média de energia no ponto P4 masculino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.5 *Univariate Analysis of Variance: ponto FP1 (pré-frontal esquerdo) masculino*

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: FP1;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,192. O quadro 23 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	762604.247(a)	79	9653.218	2.440	.000
Intercept	3566238.826	1	3566238.826	901.478	.000
Participantes	534898.561	19	28152.556	7.116	.000
faixas	85649.402	3	28549.801	7.217	.000
Participantes * faixas	142056.284	57	2492.216	.630	.983
Error	1582395.877	400	3955.990		
Total	5911238.950	480			
Corrected Total	2345000.124	479			

a R Squared = .325 (Adjusted R Squared = .192)

Quadro 23 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto FP1

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto FP1 (Sig. = 0,983 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto FP1 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo FP1, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto FP1 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 37 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo FP1, para o sexo masculino, ao longo do tempo de estimulação (800ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

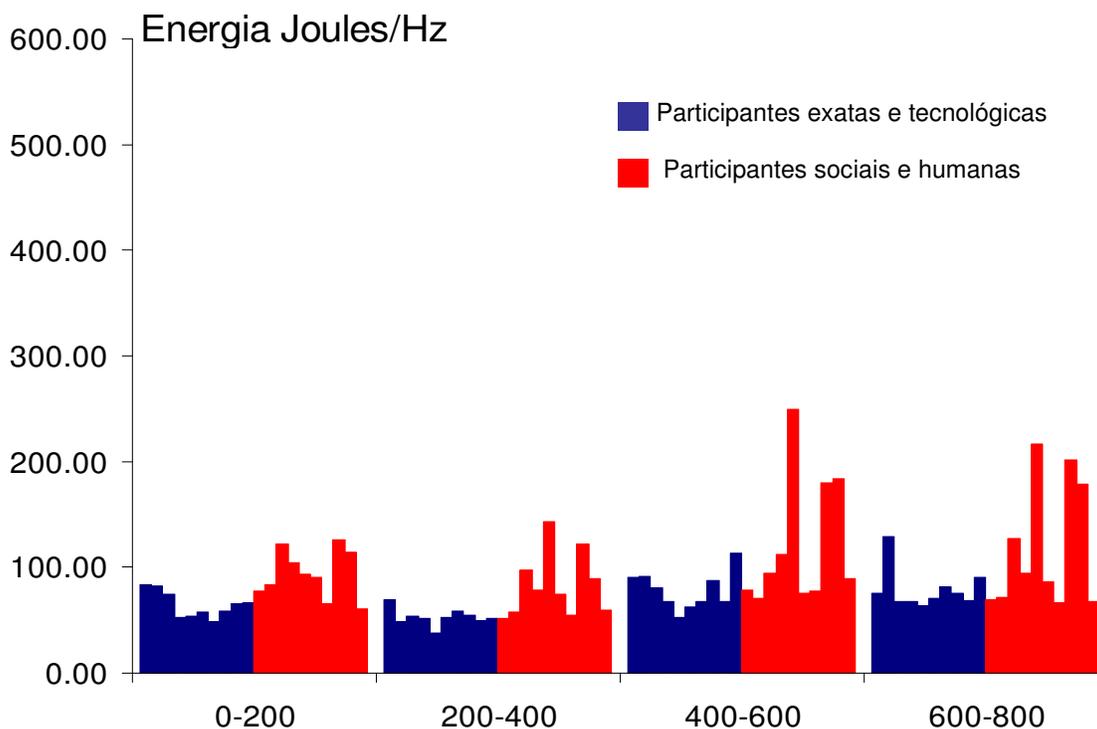


Figura 37 - Média de energia no ponto FP1 masculino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.6 Univariate Analysis of Variance: ponto FP2 (pré-frontal direito) masculino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: FP2;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,346. O quadro 24 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1402806.602(a)	79	17757.046	4.209	.000
Intercept	3948969.164	1	3948969.164	935.964	.000
Participantes	995551.409	19	52397.443	12.419	.000
faixas	70222.829	3	23407.610	5.548	.001
Participantes * faixas	337032.363	57	5912.848	1.401	.036
Error	1687658.538	400	4219.146		
Total	7039434.304	480			
Corrected Total	3090465.140	479			

a R Squared = .454 (Adjusted R Squared = .346)

Quadro 24 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto FP2  
Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto FP2 (Sig. =  $0,036 < 0,05$ ), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto FP2 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. =  $0,001 < 0,05$ ), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo FP2, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. =  $0,000 < 0,05$ ), considerando apenas o ponto FP2 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 38 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo FP2, para o sexo masculino, ao longo do tempo de estimulação (800ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

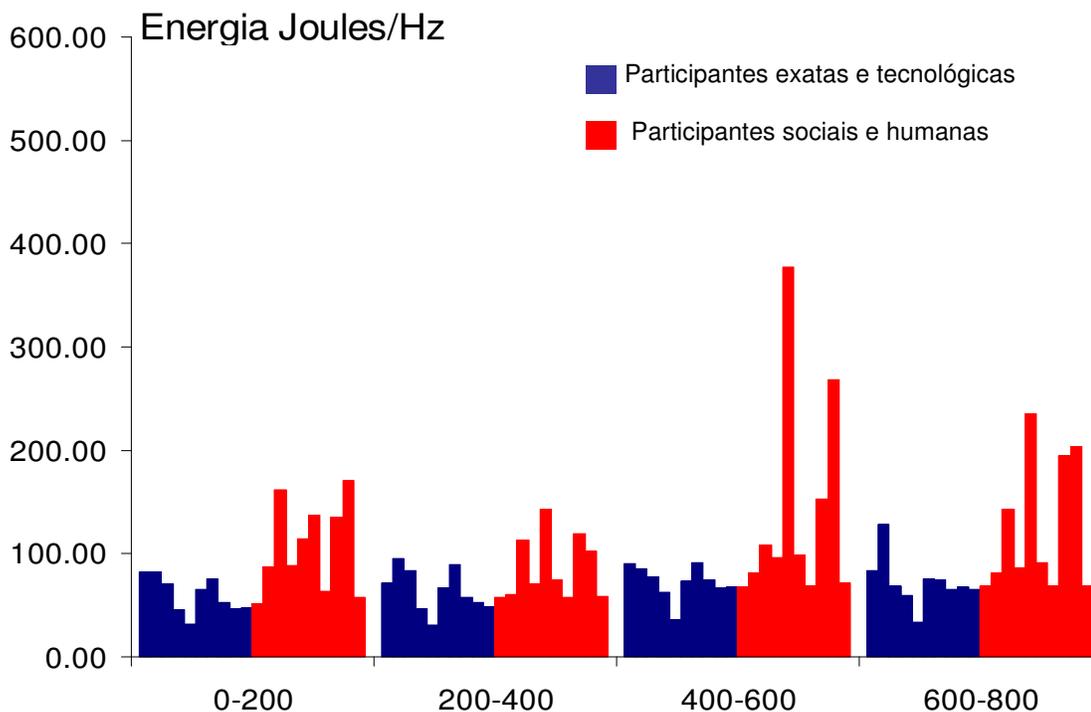


Figura 38 - Média de energia no ponto FP2 masculino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.7 Univariate Analysis of Variance: ponto F3 (frontal esquerdo) masculino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- a) variável ou fator ponto no escalpo: F3;
- b) variável ou fator sexo: masculino;
- c) fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,353. O quadro 25 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	800182.606(a)	79	10128.894	4.301	.000
Intercept	3260264.875	1	3260264.875	1384.403	.000
Participantes	581566.949	19	30608.787	12.997	.000
faixas	82551.666	3	27517.222	11.685	.000
Participantes * faixas	136063.991	57	2387.088	1.014	.453
Error	941998.466	400	2354.996		
Total	5002445.947	480			
Corrected Total	1742181.072	479			

a R Squared = .459 (Adjusted R Squared = .353)

Quadro 25 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto F3

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto F3 (Sig. = 0,453 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto F3 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo F3, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto F3 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 39 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo F3, para o sexo masculino, ao longo do tempo de estimulação (800ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

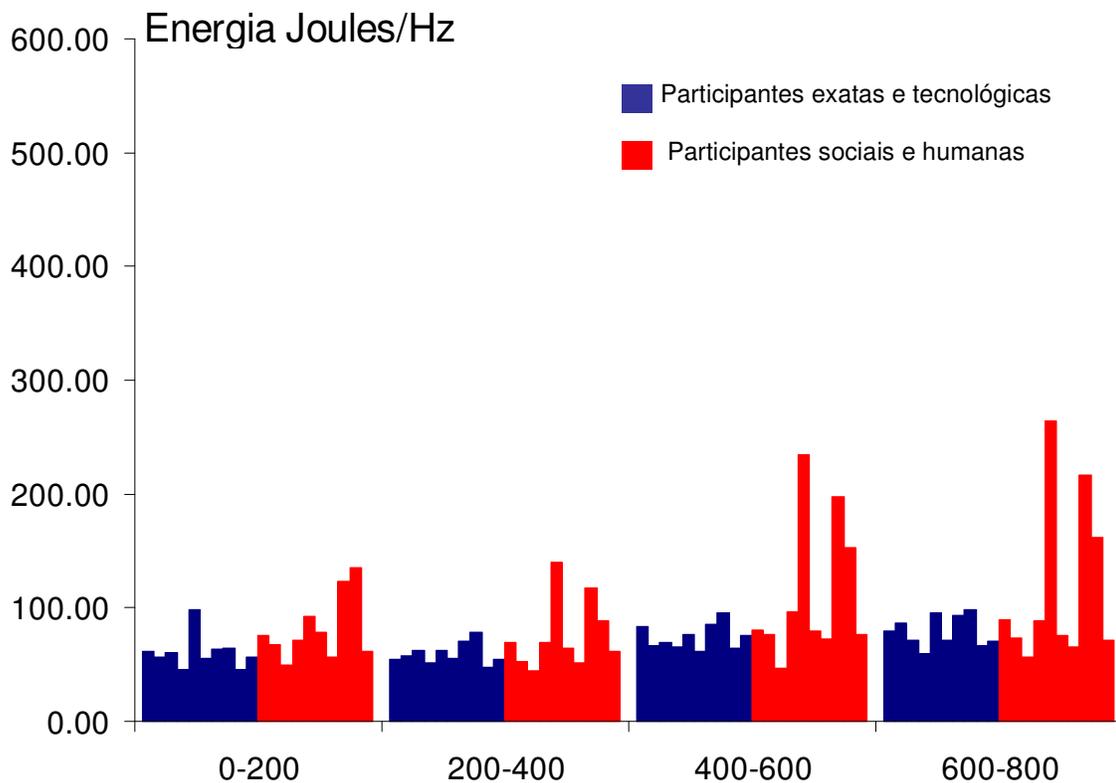


Figura 39 - Média de energia no ponto F3 masculino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.8 Univariate Analysis of Variance: ponto F4 (frontal direito) masculino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: F4;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,319. O quadro 26 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1518589.222(a)	79	19222.648	3.834	.000
Intercept	4768635.404	1	4768635.404	951.226	.000
Participantes	1194831.252	19	62885.855	12.544	.000
faixas	81764.230	3	27254.743	5.437	.001
Participantes * faixas	241993.740	57	4245.504	.847	.777
Error	2005258.199	400	5013.145		
Total	8292482.825	480			
Corrected Total	3523847.421	479			

a R Squared = .431 (Adjusted R Squared = .319)

Quadro 26 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino no ponto F4

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto F4 (Sig. = 0,777 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto F4 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,001 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo F4, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto F4 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 40 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo F4, para o sexo masculino, ao longo do tempo de estimulação (800ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

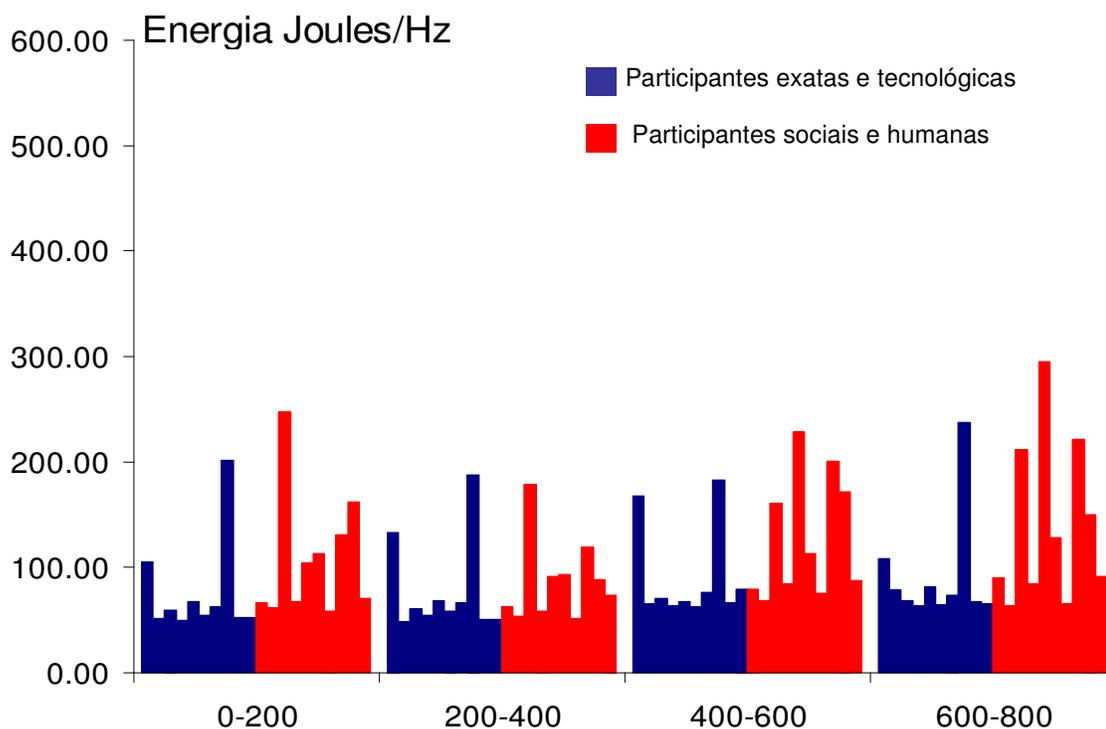


Figura 40 - Média de energia no ponto F4 masculino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.9 Univariate Analysis of Variance: ponto P4 (parietal direito) masculino - AE

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: P4;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta razoável ajuste, com R2 ajustado em 0,079. O quadro 27 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	73987.069(a)	39	1897.104	1.525	.033
Intercept	1273230.092	1	1273230.092	1023.505	.000
Participantes	30819.297	9	3424.366	2.753	.005
faixas	29679.294	3	9893.098	7.953	.000
Participantes * faixas	13488.478	27	499.573	.402	.997
Error	248798.133	200	1243.991		
Total	1596015.294	240			
Corrected Total	322785.202	239			

a R Squared = .229 (Adjusted R Squared = .079)

Quadro 27 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AE no ponto P4

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto P4 (Sig. = 0,997 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto P4 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05) entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo P4, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,005 < 0,05), considerando apenas o ponto P4 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 41 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo P4, ao longo do tempo de estimulação (800 ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x), para participantes das áreas exatas e tecnológicas do sexo masculino, considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

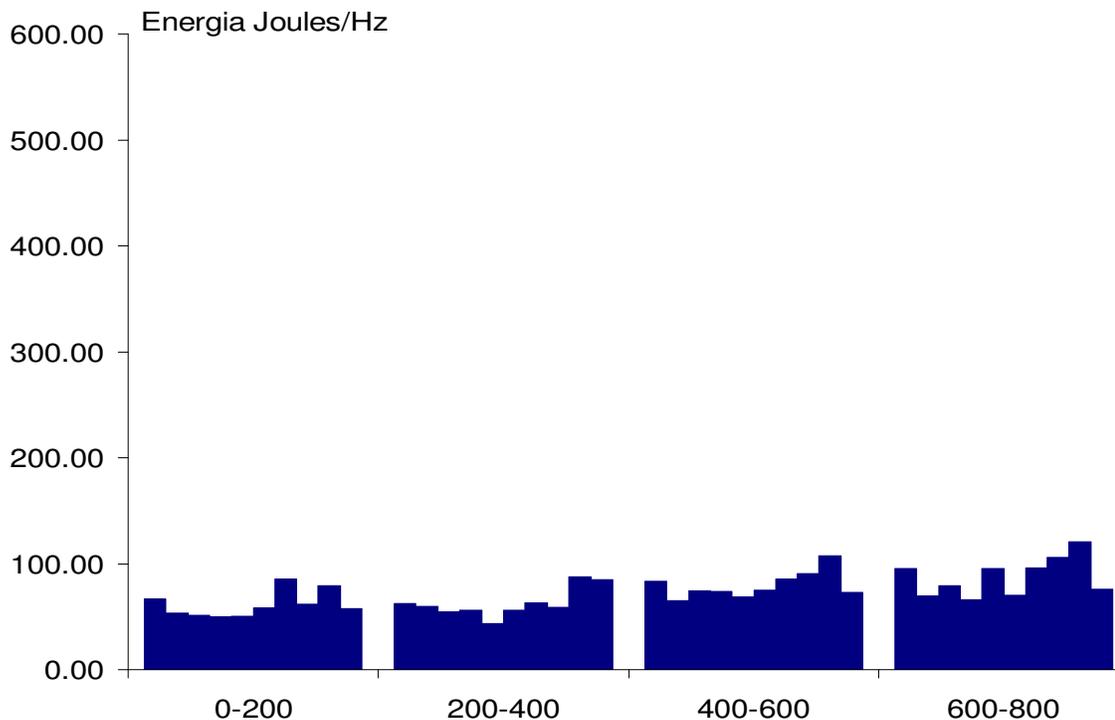


Figura 41 - Média de energia no ponto P4 masculino AE ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.10 Univariate Analysis of Variance: ponto P4 (parietal direito) masculino AH

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: P4;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,508. O quadro 28 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3011330.424(a)	39	77213.601	7.325	.000
Intercept	4374448.211	1	4374448.211	415.005	.000
Participantes	2223771.600	9	247085.733	23.441	.000
faixas	252570.205	3	84190.068	7.987	.000
Participantes * faixas	534988.619	27	19814.393	1.880	.008
Error	2108142.920	200	10540.715		
Total	9493921.556	240			
Corrected Total	5119473.344	239			

a R Squared = .588 (Adjusted R Squared = .508)

Quadro 28 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AH no ponto P4

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto P4 (Sig. = 0,008 < 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto P4 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo P4, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto P4 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 42 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo P4, ao longo do tempo de estimulação (800ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x), para participantes das áreas humanas e sociais do sexo masculino, considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

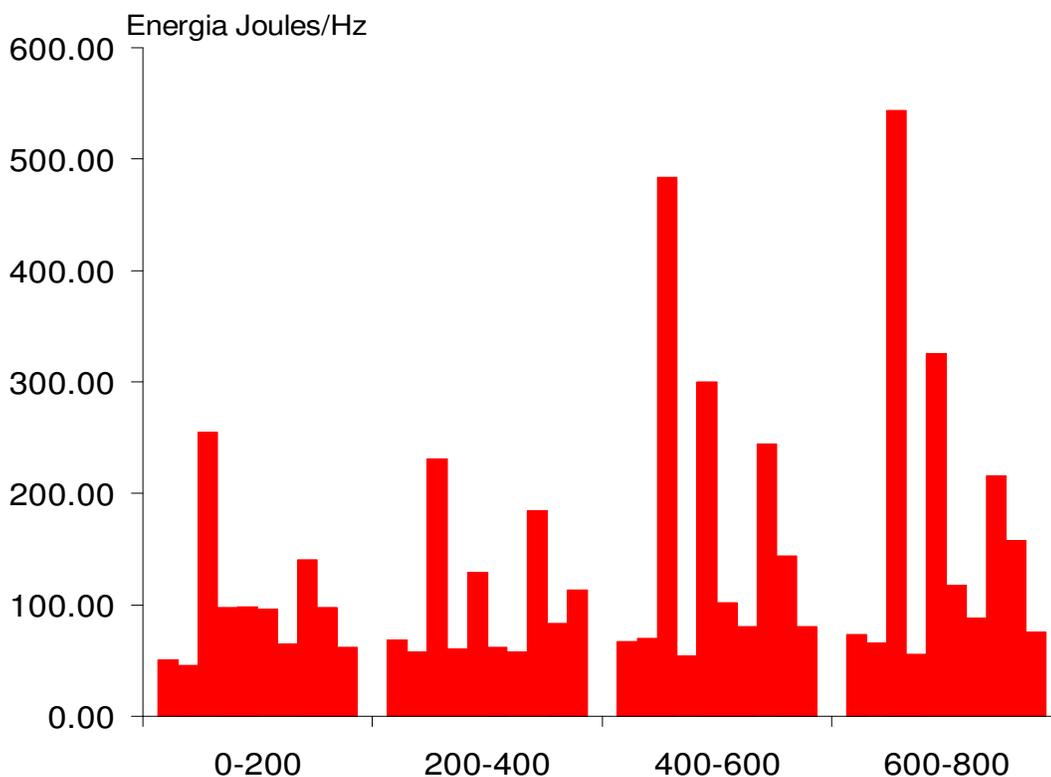


Figura 42 - Média de energia no ponto P4 masculino AH ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.11 Univariate Analysis of Variance: ponto FP2 (pré-frontal direito) masculino AE

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: FP2;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta razoável ajuste, com R2 ajustado em 0,055. O quadro 29 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	91260.921(a)	39	2340.024	1.356	.093
Intercept	1090594.033	1	1090594.033	631.830	.000
Participantes	72393.143	9	8043.683	4.660	.000
faixas	6939.371	3	2313.124	1.340	.263
Participantes * faixas	11928.406	27	441.793	.256	1.000
Error	345217.618	200	1726.088		
Total	1527072.572	240			
Corrected Total	436478.538	239			

a R Squared = .209 (Adjusted R Squared = .055)

Quadro 29 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AE no ponto FP2

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto FP2 (Sig. = 1,000 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto FP2 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças não significativas estatisticamente (Sig. = 0,263 > 0,05) entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo FP2, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto FP2 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 43 apresentam os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo FP2, ao longo do tempo de estimulação (800 ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x), para participantes das áreas exatas e tecnológicas do sexo masculino, considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

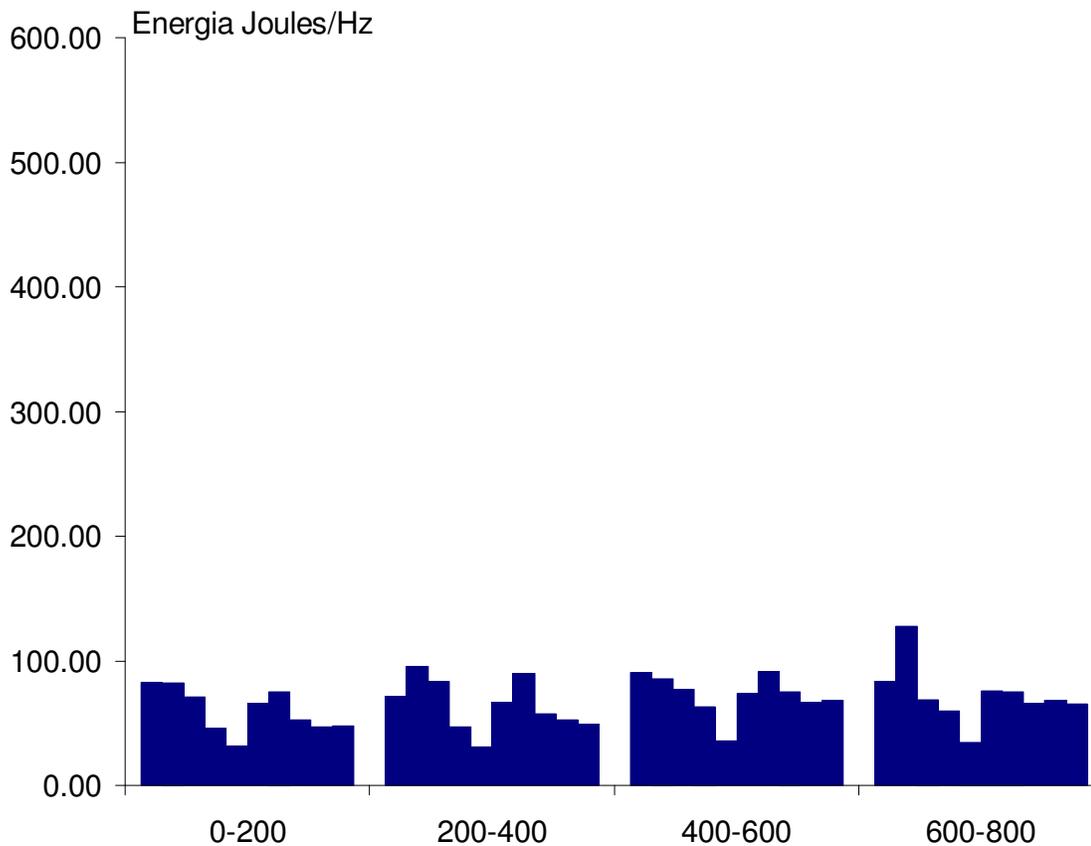


Figura 43 - Média de energia no ponto FP2 masculino AE ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.12 *Univariate Analysis of Variance*: ponto FP2 (pré-frontal direito) masculino AH

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: FP2;
- variável ou fator sexo: masculino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,330. O quadro 30 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1051122.487(a)	39	26951.859	4.015	.000
Intercept	3118798.325	1	3118798.325	464.646	.000
Participantes	662735.072	9	73637.230	10.971	.000
faixas	94981.275	3	31660.425	4.717	.003
Participantes * faixas	293406.140	27	10866.894	1.619	.033
Error	1342440.921	200	6712.205		
Total	5512361.732	240			
Corrected Total	2393563.408	239			

a R Squared = .439 (Adjusted R Squared = .330)

Quadro 30 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) - masculino AH no ponto FP2

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto FP2 (Sig. =  $0,033 < 0,05$ ), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto FP2 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. =  $0,003 < 0,05$ ), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo FP2, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. =  $0,000 < 0,05$ ), considerando apenas o ponto FP2 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 44 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo FP2, ao longo do tempo de estimulação (800 ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x), para participantes das áreas humanas e sociais do sexo masculino, considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

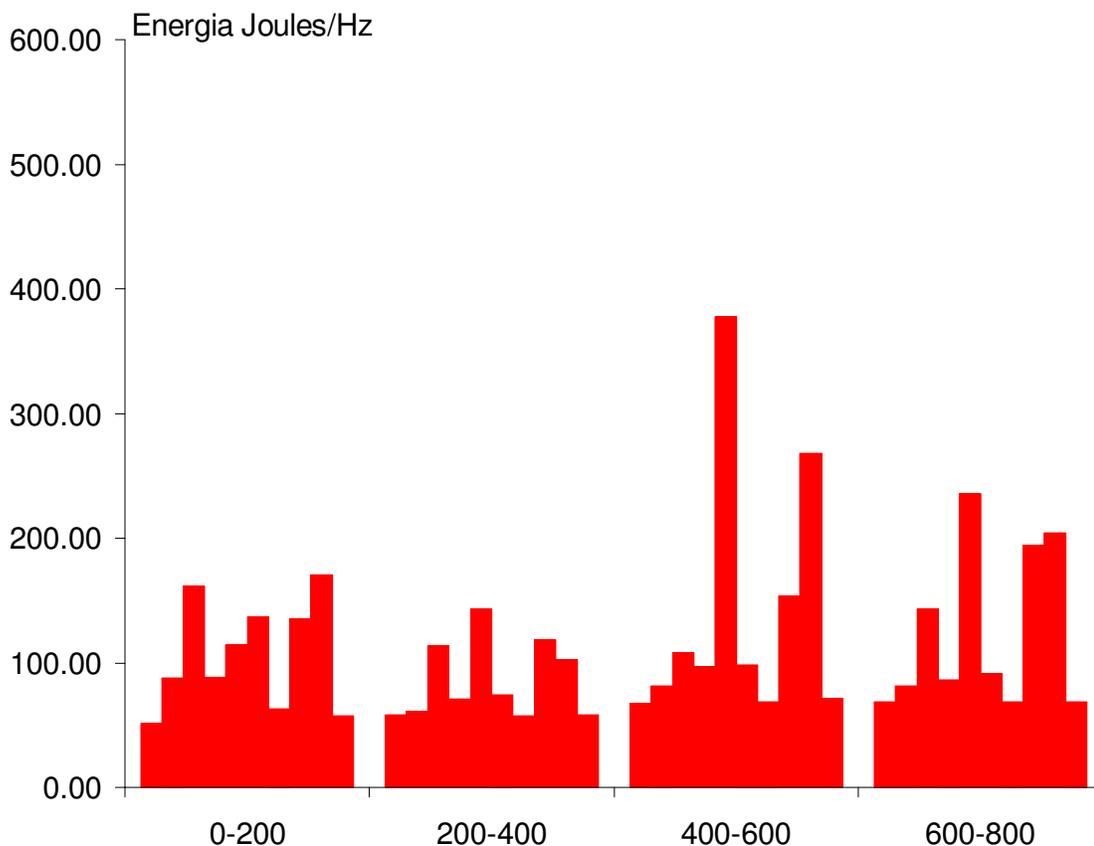


Figura 44 - Média de energia no ponto FP2 masculino AH ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.13 *Univariate Analysis of Variance*: ponto T3 (temporal esquerdo) feminino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: T3;
- variável ou fator sexo: feminino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,254. O quadro 31 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	229518.500(a)	79	2905.297	3.065	.000
Intercept	3075975.685	1	3075975.685	3244.817	.000
Participantes	113995.710	19	5999.774	6.329	.000
faixas	68074.234	3	22691.411	23.937	.000
Participantes * faixas	47448.555	57	832.431	.878	.722
Error	379186.302	400	947.966		
Total	3684680.488	480			
Corrected Total	608704.802	479			

a R Squared = .377 (Adjusted R Squared = .254)

Quadro 31 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto T3

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto T3 (Sig. = 0,722 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto T3 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo T3, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto T3 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 45 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo T3, para o sexo feminino, ao longo do tempo de estimulação (800ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

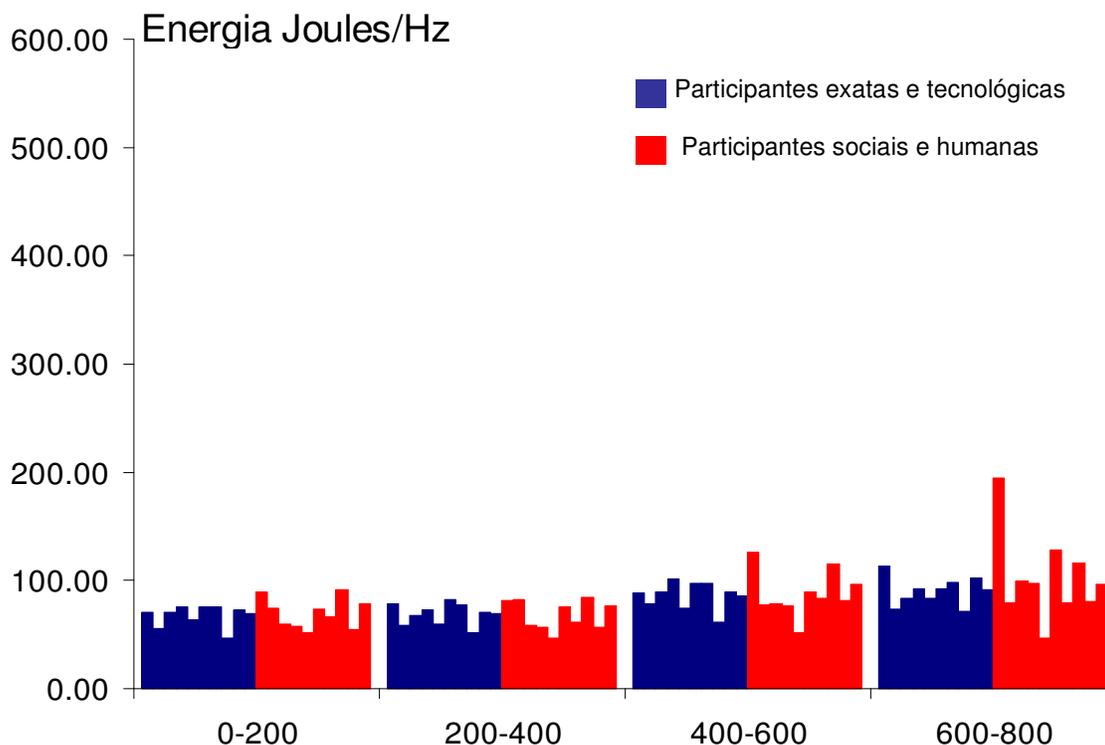


Figura 45 - Média de energia no ponto T3 feminino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.14 Univariate Analysis of Variance: ponto P3 (parietal esquerdo) feminino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: P3;
- variável ou fator sexo: feminino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,448. O quadro 32 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	798193.667(a)	79	10103.717	5.920	.000
Intercept	3641368.797	1	3641368.797	2133.544	.000
Participantes	614784.988	19	32357.105	18.959	.000
faixas	85049.450	3	28349.817	16.611	.000
Participantes * faixas	98359.228	57	1725.600	1.011	.458
Error	682689.183	400	1706.723		
Total	5122251.647	480			
Corrected Total	1480882.850	479			

a R Squared = .539 (Adjusted R Squared = .448)

Quadro 32 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto P3

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto P3 (Sig. = 0,458 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto P3 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo P3, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto P3 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 46 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo P3, para o sexo feminino, ao longo do tempo de estimulação (800ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

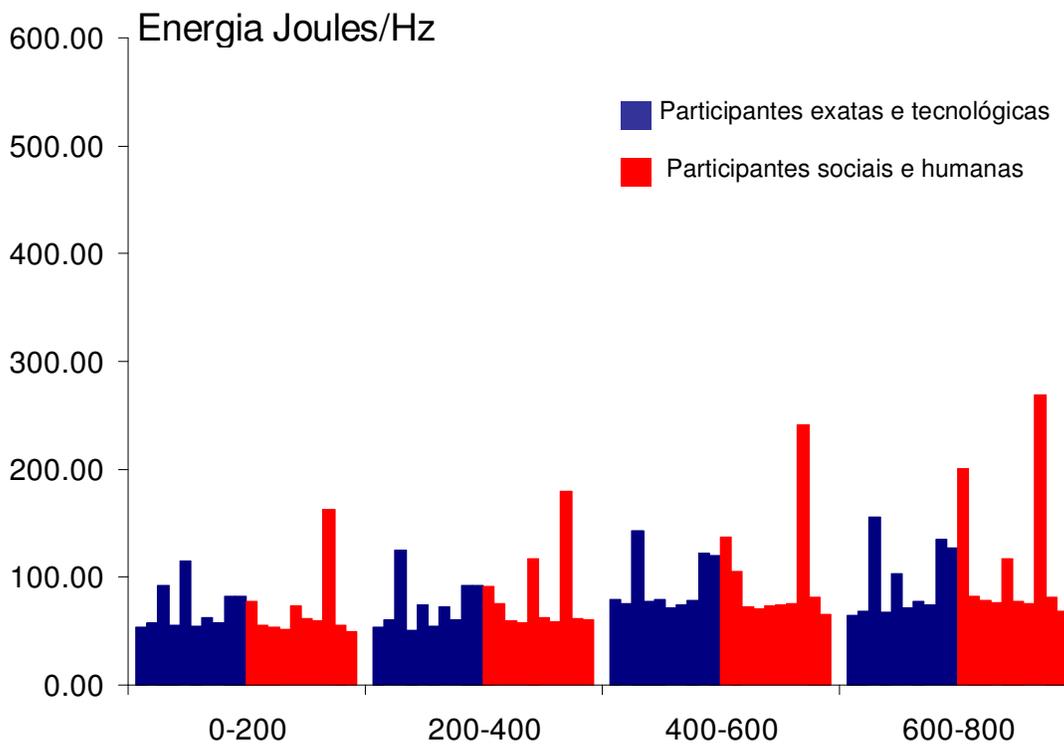


Figura 46 - Média de energia no ponto P3 feminino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.15 Univariate Analysis of Variance: ponto T4 (temporal direito) feminino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- a) variável ou fator ponto no escalpo: T4;
- b) variável ou fator sexo: feminino;
- c) fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,258. O quadro 33 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2740883.695(a)	79	34694.730	3.109	.000
Intercept	13269366.904	1	13269366.904	1188.972	.000
Participantes	2058083.073	19	108320.162	9.706	.000
faixas	290429.975	3	96809.992	8.674	.000
Participantes * faixas	392370.648	57	6883.696	.617	.987
Error	4464147.182	400	11160.368		
Total	20474397.781	480			
Corrected Total	7205030.877	479			

a R Squared = .380 (Adjusted R Squared = .258)

Quadro 33 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto T4

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto T4 (Sig. = 0,987 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto T4 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo T4, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto T4 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 47 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo T4, para o sexo feminino, ao longo do tempo de estimulação (800 ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas

representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

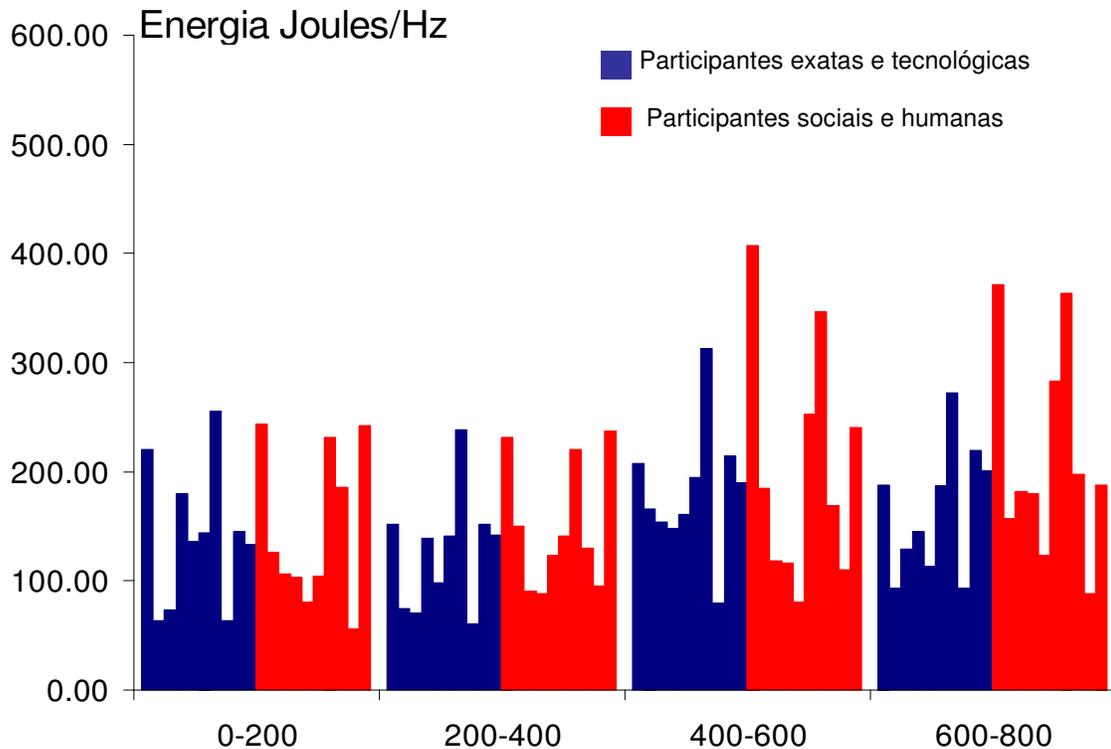


Figura 47 - Média de energia no ponto T4 feminino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.16 *Univariate Analysis of Variance*: ponto P4 (parietal direito) feminino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: P4;
- variável ou fator sexo: feminino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,174. O quadro 34 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	526159.565(a)	79	6660.248	2.281	.000
Intercept	3519053.926	1	3519053.926	1205.263	.000
Participantes	406328.992	19	21385.736	7.325	.000
faixas	49504.277	3	16501.426	5.652	.001
Participantes * faixas	70326.295	57	1233.795	.423	1.000
Error	1167895.991	400	2919.740		
Total	5213109.483	480			
Corrected Total	1694055.557	479			

a R Squared = .311 (Adjusted R Squared = .174)

Quadro 34 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto P4

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto P4 (Sig. = 1,000 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto P4 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,001 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo P4, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se também diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto P4 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 48 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo P4, para o sexo feminino, ao longo do tempo de estimulação (800 ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

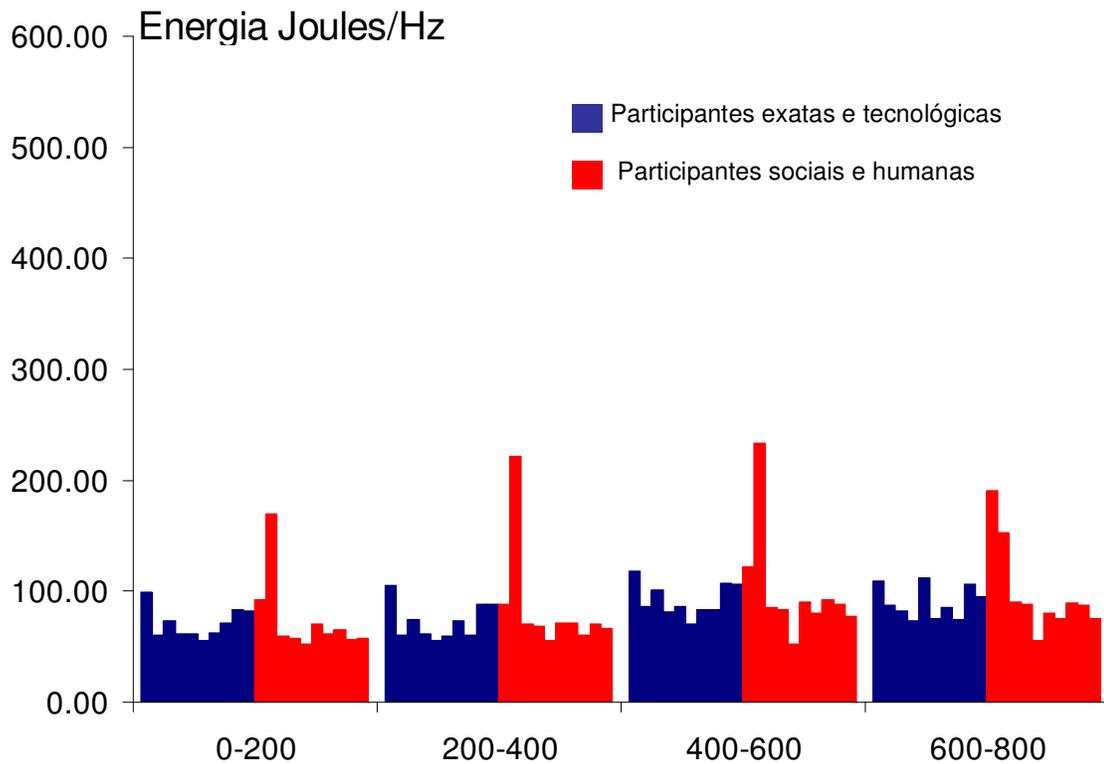


Figura 48 - Média de energia no ponto P4 feminino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.17 *Univariate Analysis of Variance*: ponto FP1 (pré-frontal esquerdo) feminino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: FP1;
- variável ou fator sexo: feminino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R2 ajustado em 0,134. O quadro 35 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	441513.769(a)	79	5588.782	1.938	.000
Intercept	3803493.451	1	3803493.451	1318.988	.000
Participantes	329978.867	19	17367.309	6.023	.000
faixas	19759.089	3	6586.363	2.284	.078
Participantes * faixas	91775.814	57	1610.102	.558	.996
Error	1153458.488	400	2883.646		
Total	5398465.709	480			
Corrected Total	1594972.257	479			

a R Squared = .277 (Adjusted R Squared = .134)

Quadro 35 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto FP1

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto FP1 (Sig. = 0,996 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto FP1 ao longo do tempo medido, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** também **não** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,078 > 0,05 entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo FP1, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto FP1 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 49 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo FP1, para o sexo feminino, ao longo do tempo de estimulação (800 ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

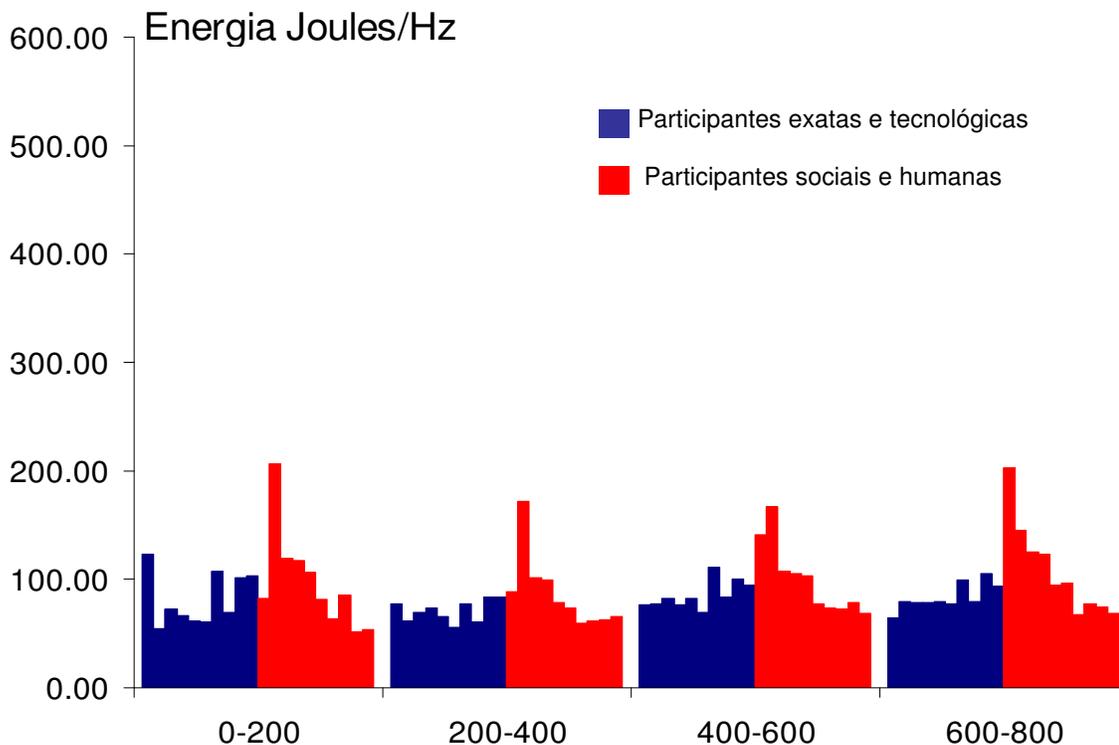


Figura 49 - Média de energia no ponto FP1 feminino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.18 Univariate Analysis of Variance: ponto FP2 (pré-frontal direito) feminino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: FP2;
- variável ou fator sexo: feminino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,156. O quadro 36 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	562299.029(a)	79	7117.709	2.124	.000
Intercept	3776022.879	1	3776022.879	1126.761	.000
Participantes	445682.323	19	23456.964	7.000	.000
faixas	25787.495	3	8595.832	2.565	.054
Participantes * faixas	90829.211	57	1593.495	.475	1.000
Error	1340487.056	400	3351.218		
Total	5678808.963	480			
Corrected Total	1902786.084	479			

a R Squared = .296 (Adjusted R Squared = .156)

Quadro 36 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto FP2

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto FP2 (Sig. = 1,000 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto FP2 ao longo do tempo, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** também **não** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,054 > 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo FP2, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto FP2 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 50 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo FP2, para o sexo feminino, ao longo do tempo de estimulação (800 ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

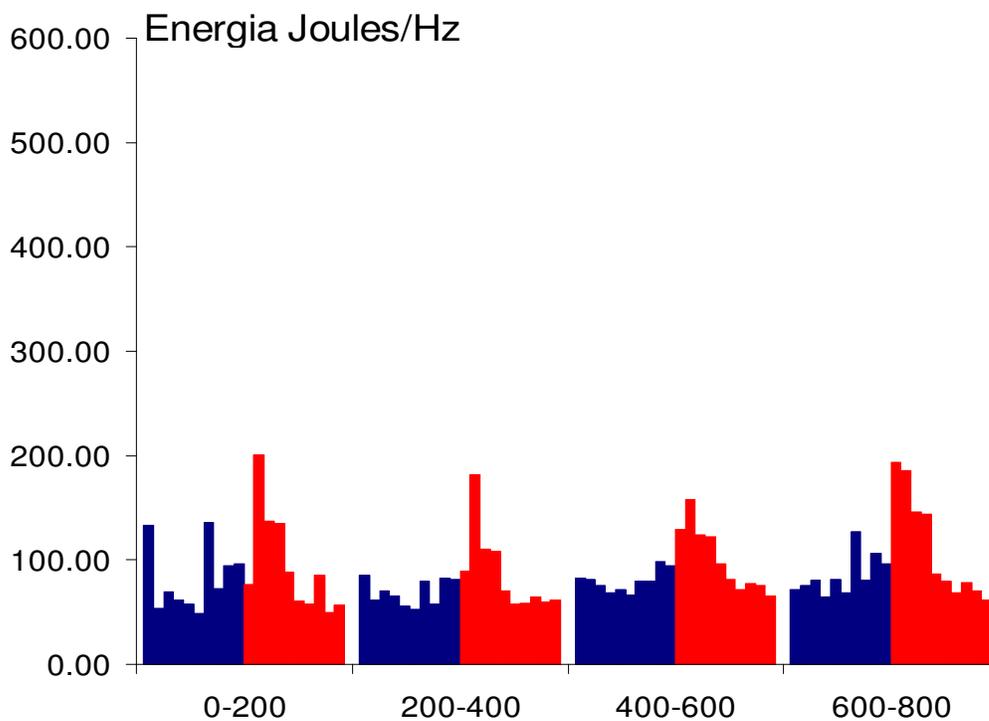


Figura 50 - Média de energia no ponto FP2 feminino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.19 Univariate Analysis of Variance: ponto F3 (frontal esquerdo) feminino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: F3;
- variável ou fator sexo: feminino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,122. O quadro 37 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	224014.118(a)	79	2835.622	1.840	.000
Intercept	2770852.319	1	2770852.319	1798.003	.000
Participantes	105631.229	19	5559.538	3.608	.000
faixas	65330.950	3	21776.983	14.131	.000
Participantes * faixas	53051.939	57	930.736	.604	.990
Error	616428.733	400	1541.072		
Total	3611295.170	480			
Corrected Total	840442.851	479			

a R Squared = .267 (Adjusted R Squared = .122)

Quadro 37 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto F3

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto F3 (Sig. = 0,990 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto F3 ao longo do tempo medido para cada um dos participantes, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo F3, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** também identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto F3 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 51 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo F3, para o sexo feminino, ao longo do tempo de estimulação (800 ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

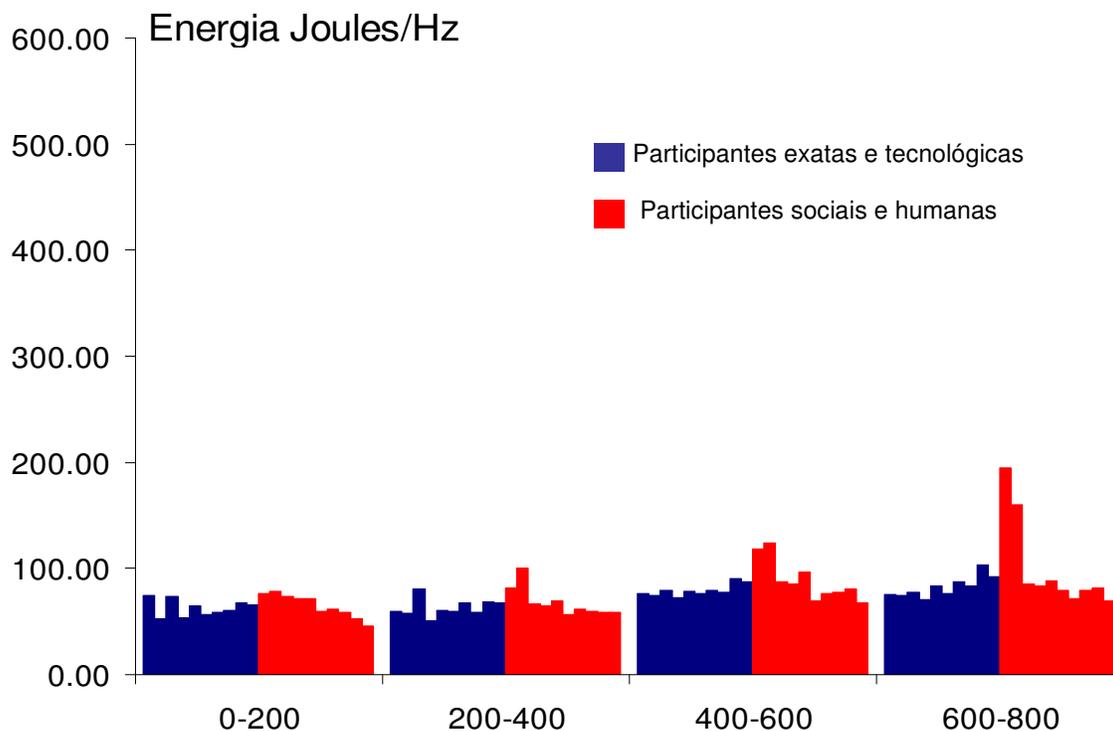


Figura 51 - Média de energia no ponto F3 feminino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.2.20 Univariate Analysis of Variance: ponto F4 (frontal direito) feminino

Para esta análise foram considerados fixos os seguintes fatores:

- variável ou fator ponto no escalpo: F4;
- variável ou fator sexo: feminino;
- fatores fixos para a interação entre fatores: participantes e faixas de tempo

O modelo apresentado para esta análise apresenta bom ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado em 0,151. O quadro 38 mostra os resultados encontrados na simulação pelo SPSS-UNIVARIATE.

Dependent Variable: Energia

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	379827.518(a)	79	4807.943	2.082	.000
Intercept	2778324.437	1	2778324.437	1202.970	.000
Participantes	279378.400	19	14704.126	6.367	.000
faixas	55741.967	3	18580.656	8.045	.000
Participantes * faixas	44707.151	57	784.336	.340	1.000
Error	923821.484	400	2309.554		
Total	4081973.438	480			
Corrected Total	1303649.001	479			

a R Squared = .291 (Adjusted R Squared = .151)

Quadro 38 – Efeito entre fatores ( $\alpha = 0,05$ ) – feminino no ponto F4

Fonte: o Autor

Os resultados encontrados mostram que a interação entre fatores **participantes e faixas de tempo não** apresenta diferenças significativas estatisticamente para o ponto F4 (Sig. = 1,000 > 0,05), a um nível de significância de 5%. Entende-se que as variações entre as médias quadráticas dos sinais de energia no ponto F4 ao longo do tempo, para todas as figuras, não foram significativas estatisticamente.

Para o fator **faixas** identificam-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), entre as faixas de tempo relativas as médias de energia encontradas no ponto do escalpo F4, considerando a apresentação de todas as figuras.

Para o fator **participantes** também identifica-se diferenças significativas estatisticamente (Sig. = 0,000 < 0,05), considerando apenas o ponto F4 e a apresentação de todas as figuras.

A figura 52 apresenta os valores de média de energia (eixo y) demandados no ponto do escalpo F4, para o sexo feminino, ao longo do tempo de estimulação (800ms) divididos para melhor entendimento em quatro faixas temporais (eixo x) para cada um dos participantes (linhas azuis representando participantes das áreas exatas e tecnológicas e linhas vermelhas representando participantes das áreas humanas e sociais) considerando a apresentação de todas as figuras (tipos de estímulos).

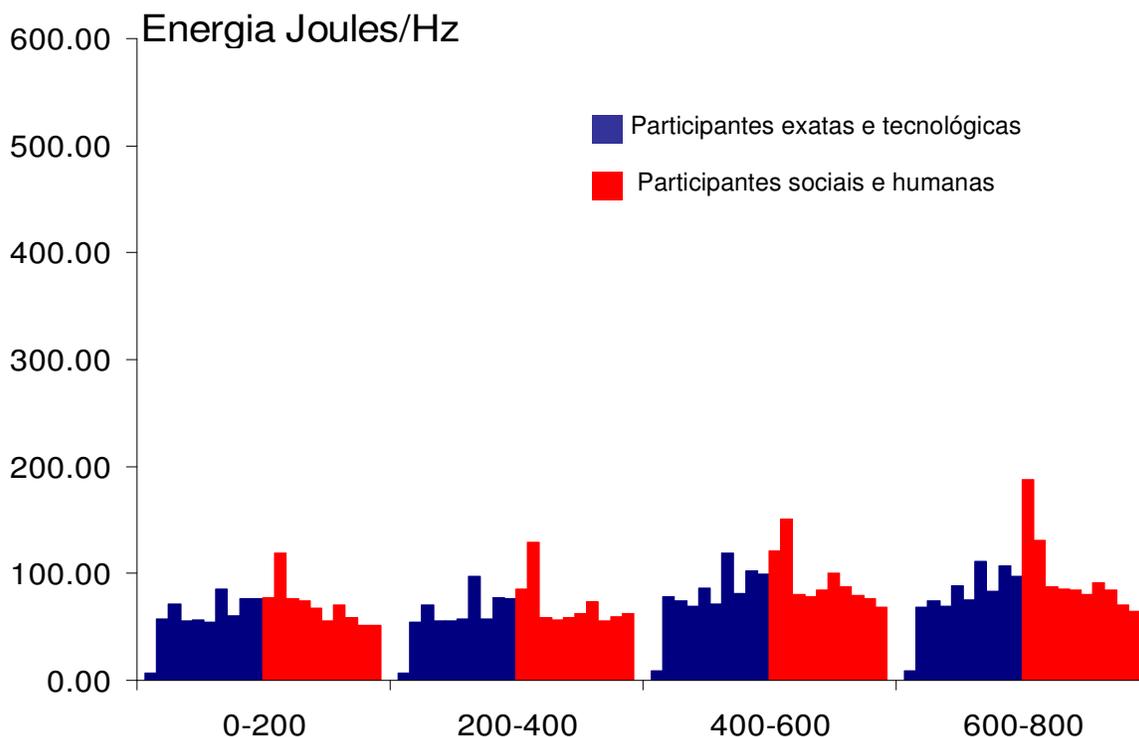


Figura 52 - Média de energia no ponto F4 feminino ao longo do tempo  
Fonte: o Autor

### 4.1.3 Análise dos sinais por FFT

A análise por frequência é uma forma de avaliar o nível de atenção e de processamento cerebral durante a tarefa solicitada. O modelo matemático aplicado foi a Transformada Rápida de Fourier que gerou como resultante o valor da frequência com maior magnitude em cada faixa de tempo avaliada (intervalos entre 0-200 ms, 200-400 ms, 400-600 ms e 600-800 ms), considerando individualmente cada ponto no escalpo para cada participante. As figuras 53, 54, 55 e 56 apresentam valores de média de frequência de cada participante por ponto no escalpo, considerando o tempo total do experimento (800 ms) para os seis estímulos apresentados (seis imagens).

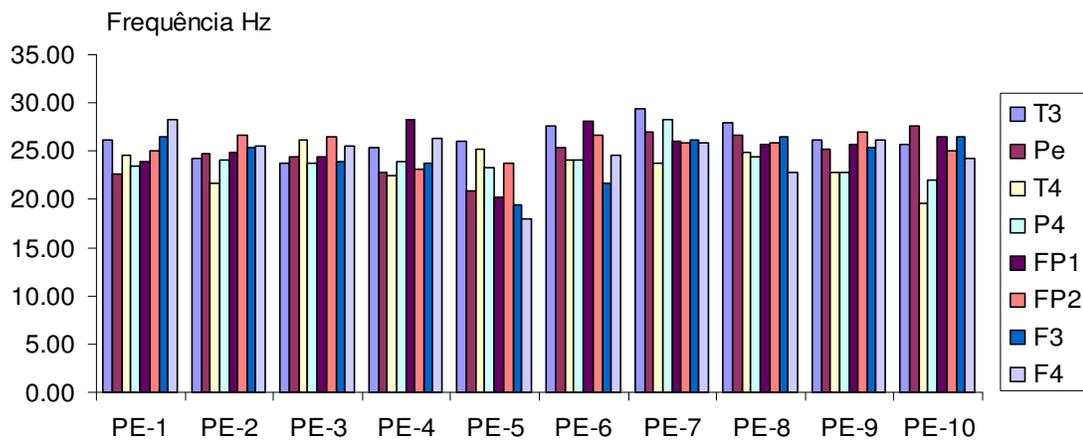


Figura 53 - Média de frequência entre pontos no escalpo para participantes AE masculino  
Fonte: o Autor

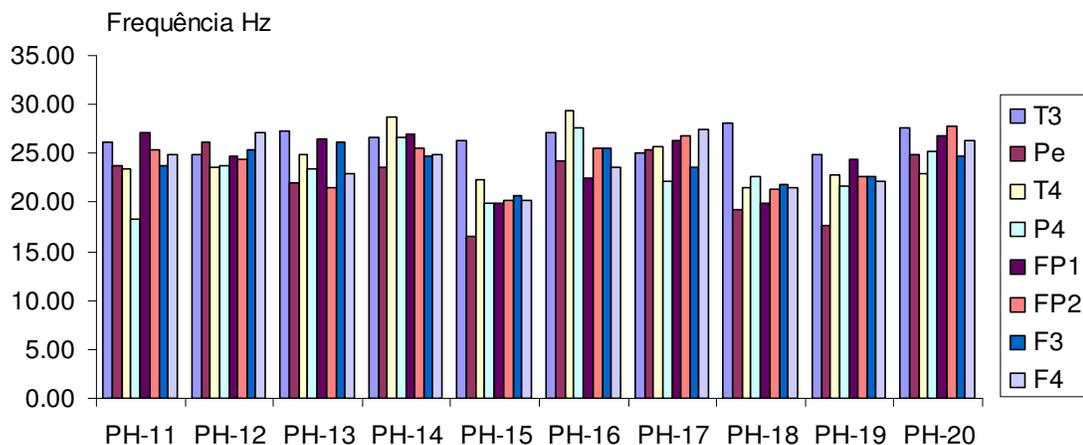


Figura 54- Média de frequência entre pontos no escalpo para participantes AH masculino  
Fonte: o Autor

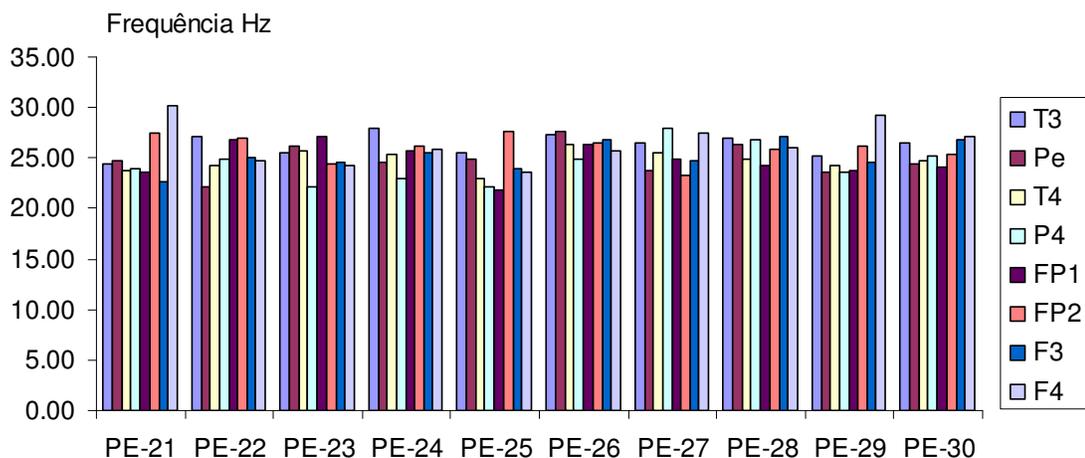


Figura 55 - Média de frequência entre pontos no escalpo para participantes AE feminino  
Fonte: o Autor

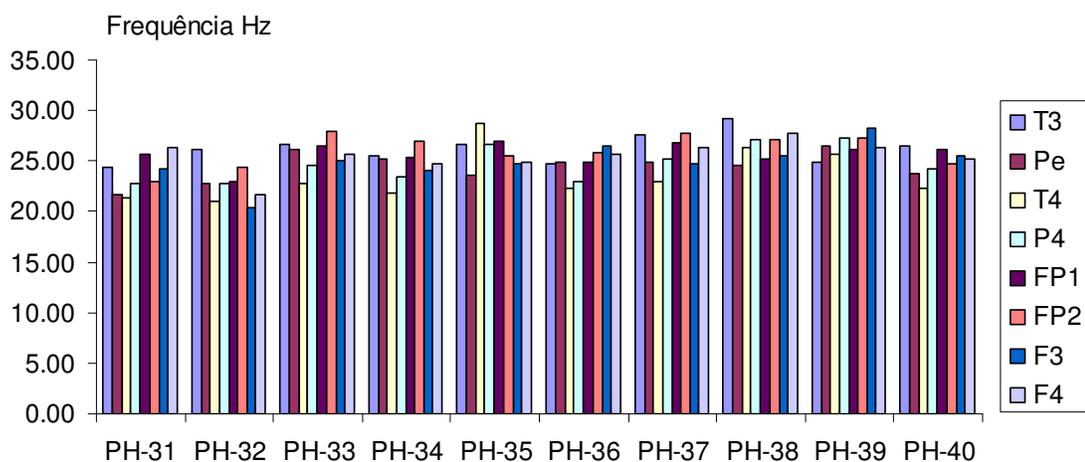


Figura 56 - Média de frequência entre pontos no escalpo para participantes AH feminino  
Fonte: o Autor

#### 4.1.4 Resultados do questionamento verbal

Além dos resultados apresentados que foram provenientes das medidas dos sinais elétricos cerebrais, um questionamento verbal foi realizado junto a cada participante solicitando que ao final da exposição de cada imagem (após os 800ms de exposição) para os seis tipos de estímulos (imagens) apresentados, o mesmo respondesse Sim ou NÃO indicando se as figuras apresentadas em cada imagem eram iguais ou não. Assim, foi determinado que

um SIM corresponderia a resposta para imagens iguais e um NÃO corresponderia a resposta para imagens diferentes.

As imagens associadas aos tipos de estímulo foram apresentadas no capítulo 2, item 2.5.

As respostas SIM e NÃO foram consideradas para cada estímulo apresentado como um indicador de acerto ou erro e foram somados os acertos para cada área de conhecimento, separadas por sexo. Os resultados são apresentados na figura 57, distribuídos no eixo x por figuras (estímulos apresentados) e na figura 58, onde o eixo x representa as áreas.

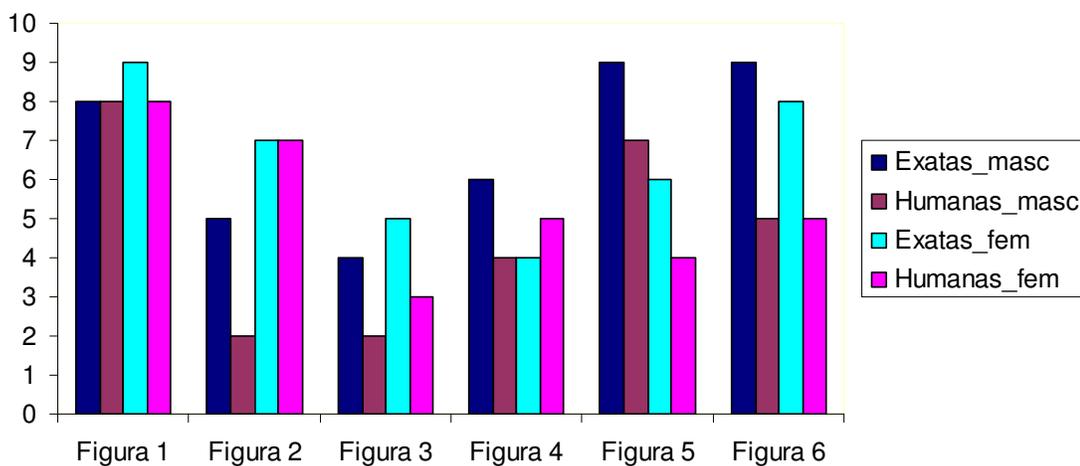


Figura 57 – Número de acertos por cada tipo de estímulo, separados por área e sexo  
Fonte: o Autor

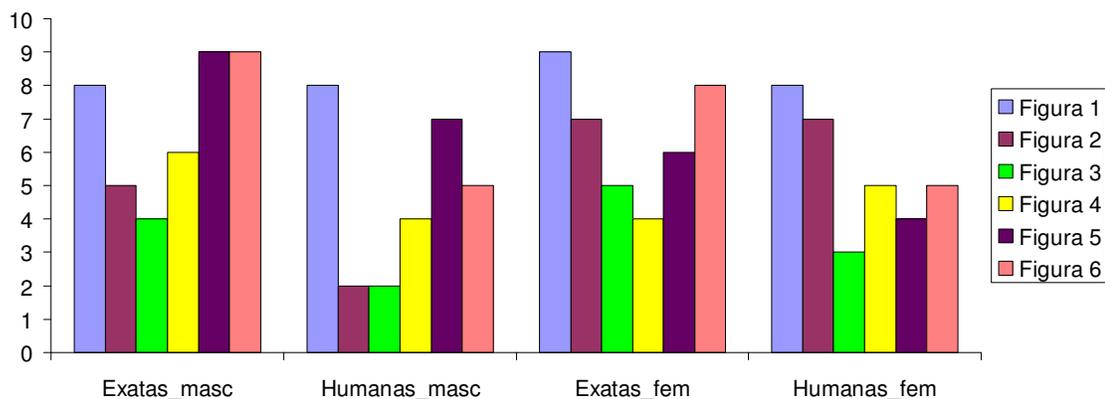


Figura 58 – Distribuição dos acertos em cada figura, concentrados por área e sexo  
Fonte: o Autor

#### 4.1.5 Resultados do subtteste BPR5 – RE

O subtteste BPR5-RE foi aplicado a voluntários das duas áreas de conhecimento em estudo: ciências exatas e tecnológicas e ciências humanas e sociais. No entanto, a falta de um horário comum entre o psicólogo (cujo participou voluntariamente da pesquisa) e os participantes impediu que a maioria dos que participaram da coleta com eletroencefalografia, não participassem do teste psicológico. E também os participantes que fizeram o teste psicológico não encontraram tempo para a realização da coleta de sinais elétricos cerebrais. Apenas 5 participantes puderam realizar ambos os testes. Portanto, os resultados obtidos nos diferentes meios de acesso não foram comparados. A análise realizada sobre os resultados do subtteste BPR5-RE serviu tão somente como um indicador de medida de raciocínio espacial entre as diferentes áreas de conhecimento.

Na área de conhecimento das ciências exatas e tecnológicas, 33 estudantes participaram do subtteste-BPR5-RE e obtiveram média de acertos em 15 questões das 20 questões propostas no teste. O comportamento de acertos para esta área foi o seguinte, conforme o quadro 39.

<b>Área de Exatas e Tecnológicas</b>			
<b>Total de alunos participantes: 33</b>			
<b>Número de acertos</b>	<b>% acertos</b>	<b>Número de participantes</b>	<b>% participantes AE</b>
20	100%	2	6%
18 ou mais	90%	10	30%
15 ou mais	75%	18	55%
10 ou mais	50%	31	94%

Quadro 39 – Relação entre percentual de acertos e percentual de participantes das áreas exatas e tecnológicas  
Fonte: o Autor

Na área de conhecimento das ciências humanas e sociais, 22 estudantes participaram do subtteste-BPR5-RE e obtiveram média de acertos em 11 questões das 20 questões propostas no teste. O comportamento de acertos para esta área foi o seguinte, conforme o quadro 40.

<b>Área de Humanas e Sociais</b>			
<b>Total de alunos participantes: 22</b>			
<b>Número de acertos</b>	<b>% acertos</b>	<b>Número de participantes</b>	<b>% participantes AE</b>
20	100%	0	<b>0%</b>
18 ou mais	90%	3	<b>14%</b>
15 ou mais	75%	5	<b>23%</b>
10 ou mais	50%	13	<b>59%</b>

Quadro 40 – Relação entre percentual de acertos e percentual de participantes das áreas humanas e sociais  
 Fonte: o Autor

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada pretende agregar valor às áreas científicas e tecnológicas, através de metodologia científica aplicada à questão educacional, com abordagem multidisciplinar, incluindo as Ciências Cognitivas, a Neurociência e a Psicologia, bem como o desenvolvimento de tecnologia para monitoramento de atividades experimentais nesta área. Pretende ainda contribuir para as discussões existentes hoje sobre as condições cognitivas de aprendizes com perfis específicos de diferentes áreas de conhecimento, além de, como subproduto, dar suporte à área da saúde com resultados que possam gerar novas técnicas de abordagem para a avaliação neurológica.

Também abordou o funcionamento cognitivo humano em geral, focalizando os processos de aprendizagem que envolveram conteúdos complexos e raciocínios lógico-espaciais em particular, entre as áreas de conhecimento das ciências exatas e tecnológicas e as áreas de conhecimento humanas e sociais. Os resultados obtidos pelos diferentes métodos de acesso (eletroencefalografia, psicométrica e questionamento verbal) sobre o experimento que contemplou a estimulação de processo cognitivo relacionado a habilidade ou raciocínio espacial foram modelados matematicamente. Utilizou-se Transformada Discreta de Fourier (DFT) e Transformada Rápida de Fourier (FFT) para o processamento dos sinais de eletroencefalografia e instrumentos da Psicologia – BPR5-RE para os testes psicométricos. Os dados relativos as respostas verbais foram tratados por médias entre as áreas de conhecimento e serviram como indicadores as conclusões inferidas pelos resultados da modelagem estatística aplicada aos valores resultantes do modelo matemático.

O experimento foi modelado com a técnica de Projeto de Experimentos e utilizou-se metodologias de base neurocientífica (eletroencefalografia) e fundamentações teóricas das áreas de educação e cognição (Ciências Cognitivas e Psicométrica) com o objetivo de facilitar o entendimento sobre um processo bastante complexo como é o processo cognitivo humano.

Os resultados apresentados no capítulo 4 permitem inferir os achados relacionados nos tópicos a seguir.

- A análise de variância para a interação entre os fatores participantes (participantes do sexo masculino das duas áreas de conhecimento) e pontos no escalpo (T3, P3, T4, P4, FP1, FP2, F3 e F4), na primeira faixa de tempo (0-200 ms), considerando a exposição de todas as seis figuras, demonstrou que não houve alteração significativa estatisticamente (para  $\alpha=0,05$ ) entre estes fatores, ou seja a tendência de variação do nível de energia em cada ponto do escalpo para este grupo de participantes mostrou-se homogênea, o que não

ocorreu para as demais faixas de tempo selecionadas para a análise de variância dos mesmos fatores, conforme apresentado nos itens 4.1.1.1, 4.1.1.2, 4.1.1.3 e 4.1.1.4. Nos intervalos de tempo medidos entre 200-400, 400-600 e 600-800 ms, a variação foi estatisticamente significativa. A primeira hipótese que pode ser colocada como justificativa a este comportamento seria o fato de que os sinais relativos aos ERPs (Potencial relacionado ao evento) manifestam-se para estímulos visuais complexos após os 250 ms – P300 [LUCK, 2005]. As variações significativas ocorridas após os estímulos também podem ser creditadas a diferenças na fisiologia do córtex. E ainda que os estímulos apresentados desencadearam processos de raciocínio espacial em cada um dos participantes com alocações distintas de capacidade (memória) e velocidade de processamento, gerando demandas de energia com tendência de variação não homogênea ao longo do período de tempo coletado para cada um dos pontos medidos.

- Em função dos resultados apresentados nos itens 4.1.1.1, 4.1.1.2, 4.1.1.3 e 4.1.1.4, comentados no tópico anterior, nova análise de variância foi realizada considerando as mesmas variáveis (participantes do sexo masculino, pontos no escalpo (T3, P3, T4, P4, FP1, FP2, F3 e F4), por faixas de tempo (0-200ms, 200-400, 400-600 e 600-800), considerando a exposição de todas as seis figuras), mas separando o fator participante do sexo masculino pelas áreas de conhecimento estudadas (isto é, analisando separadamente participantes masculinos da área das exatas e tecnológicas dos participantes masculinos das áreas humanas e sociais). Percebe-se que entre 0-200ms não há variação significativa estatisticamente em cada um dos grupos 4.1.1.5 e 4.1.1.9. Mas entre o intervalo de 200-400ms o grupo das ciências exatas apresenta variação estatisticamente significativa enquanto o grupo das áreas humanas e sociais não apresenta os resultados estatisticamente significativos 4.1.1.6 e 4.1.1.10. Uma hipótese para este achado é a ocorrência da alteração no sinal em função do ERP P300, alteração de sinal significativa para eventos que estimulam a área visual e raciocínio espacial. Supõe-se aqui, como mais uma hipótese a ser testada em estudos futuros, que os participantes das áreas exatas apresentaram reação ao fenômeno do estímulo em tempo anterior aos participantes das áreas humanas. Nos intervalos seguintes entre 400-600 ms e 600-800 ms ambas as áreas de conhecimento manifestaram alteração significativa estatisticamente na variação dos sinais, conforme apresentado nos itens 4.1.1.7, 4.1.1.8, 4.1.1.11 e 4.1.1.12.
- A análise de variância para a interação entre os fatores participantes (participantes do sexo feminino duas áreas de conhecimento) e pontos no escalpo (T3, P3, T4, P4, FP1, FP2, F3 e F4), em cada faixa de tempo medido, considerando o fator tipos de estímulos (todas as

figuras), foi significativa estatisticamente (para  $\alpha=0,05$ ), itens 4.1.1.13, 4.1.1.14, 4.1.1.15 e 4.1.1.16. Também foi realizada a análise de variância individual de cada área confirmando que a variância entre as médias de energia foi significativa estatisticamente para cada grupo do gênero feminino de cada área de conhecimento, em todos os intervalos de tempo. Na comparação com o sexo masculino, não se pode aplicar aqui, a hipótese sobre ERPs como foi colocada para a faixa de tempo de 0-200ms. Estudos indicam que o processamento cognitivo ocorre de forma diversa entre gêneros [HARWANT, 1997], [KERI, 2002], assim não será feita aqui comparação entre estes grupos.

- Outra análise que contempla cada um dos pontos de forma individual, ao longo do tempo de exposição dos estímulos (seis imagens) – análise longitudinal -, mostrou que para os pontos P3, T3, T4, FP1, F3 e F4 não houve variância significativa para a média do cálculo de energia para o sexo masculino (itens 4.1.2.1, 4.1.2.2, 4.1.2.3, 4.1.2.5, 4.1.2.7 e 4.1.2.8). A variação não foi homogênea para os pontos P4 e FP2 (4.1.2.4 e 4.1.2.6). Logo, verificou-se separadamente, por área de conhecimento, o que ocorreu em cada grupo. Para o grupo da área de ciências exatas e tecnológicas não houve variação significativa estatisticamente nestes pontos, mas na área de conhecimento das humanas e sociais houve variação significativa estatisticamente para os pontos P4 e FP2, conforme mostrado nos itens 4.1.2.9, 4.1.2.10, 4.1.2.11 e 4.1.2.12. Nesta análise é importante colocar que os pontos P4 (parietal direito) e FP2 (pré-frontal direito) são pontos relacionados com o raciocínio espacial. A área dorsal ou occipitoparietal é especializada na percepção espacial (determinação sobre onde está um objeto) e na análise da configuração espacial entre diferentes objetos em um cenário. Gazzaniga (2006, p. 533) também apresenta resultados de experimentos relacionados à memória de trabalho espacial e não espacial, e a análise sustenta a hipótese de que as tarefas espaciais estão associadas à ativação no córtex pré-frontal direito (associado ao ponto FP2). Assim, o achado destes resultados aponta para a hipótese de que o grupo de participantes de áreas de ciências exatas e tecnológicas teve uma demanda de energia com variação uniforme estatisticamente ao longo do tempo nas áreas parietal e pré-frontal, enquanto o grupo de participantes do sexo masculino das áreas humanas e sociais apresentou resultados que apontam para um comportamento não homogêneo na demanda de energia necessária para a realização da tarefa espacial ao longo do tempo. Extremamente importante colocar que em todo o processo, o nível de demanda de energia ocorreu em intensidade menor no grupo dos participantes das áreas exatas e tecnológicas em relação aos participantes das áreas humanas e sociais, em todos os pontos medidos no escalpo, exceto na área relativa ao

ponto T4 (temporal direito), região de localização e ativação de memória. A hipótese plausível para este achado seria a de economia de energia na realização da tarefa pelo grupo de participantes das áreas exatas e tecnológicas.

- A análise feita ao grupo do sexo feminino, ao longo do tempo de exposição dos estímulos (seis imagens) – análise longitudinal -, mostrou que para os pontos do escalpo mapeados para este experimento (P3, T3, T4, P4, FP1, FP2, F3 e F4) não houve variância significativa estatisticamente para a média do cálculo de energia entre os fatores participantes (todas as áreas de conhecimento estudadas do sexo feminino). Os resultados foram apresentados nos itens 4.1.2.13, 4.1.2.14, 4.1.2.15, 4.1.2.16, 4.1.2.17, 4.1.2.18, 4.1.2.19 e 4.1.2.20. A hipótese para achados distintos entre gêneros pode ser a diferença no córtex entre homens e mulheres ou também, como salientam Harwant (1997) e Keri (2002), diferentes processamentos cognitivos para o raciocínio espacial entre sexos. A análise para estas diferenças (se houver) não estão contempladas nesta tese.
- Além dos resultados encontrados pelo tratamento matemático e estatístico feito sobre a variável *Energia*, outra variável advinda da coleta por eletroencefalografia – *variável Frequência* – foi analisada sob o modelo matemático da Transformada Rápida de Fourier – FFT. Os resultados obtidos mostram que para todos os participantes, das duas áreas de conhecimento, de ambos os gêneros, em todos os pontos do escalpo e para todos os estímulos apresentados, o valor da frequência principal encontrada ficou situado na banda de frequência Beta (faixa de frequência entre 14 e 40Hz). Aplicada a Análise de Variância – UNIVARIATE - sobre os valores de frequência conforme planejado pelo projeto de Experimentos, analisando a variável dependente Frequência em função das variáveis independentes: pontos no escalpo (T3, P3, T4, P4, FP1, FP2, F3 e F4), faixas de tempo (0-200 ms, 200-400 ms, 400-600 ms e 600-800 ms), áreas de conhecimento e tipos de estímulos, foram encontrados resultados estatísticos que não estão contemplados nesta tese. Para analisar o comportamento destes resultados é necessário explorar a teoria sobre o comportamento das bandas de frequência do sinal elétrico cerebral e especificamente, a banda Beta e esta etapa não foi contemplada no modelo teórico desta tese. Assim, a análise do sinal em frequência para esta tese ficou restrita ao resultado que mostra a variação simples entre o sinal de frequência por FFT no experimento, conforme apresentado no item 4.1.3.
- No item 4.1.4 foram apresentados os resultados das respostas ao questionamento verbal realizado após a exibição de cada estímulo, após os 800 ms para cada figura. A área de conhecimento de ciências exatas e tecnológicas do sexo masculino obteve a maior

pontuação, com 41 acertos (68%), somadas as respostas das seis imagens apresentadas. O maior índice de acertos ocorreu nas figuras 1, 4, 5 e 6 para esta área. A classificação segue com a área das ciências exatas e tecnológicas do sexo feminino que pontuou 39 (65%) acertos, com maior número de acertos nas questões 1,2 e 6. As áreas de ciências humanas e sociais tiveram resultados 32 (53%) e 28 (46%) questões corretas respectivamente para os sexos: feminino e masculino. Importante ressaltar que muito embora todos os estímulos evocassem a habilidade de raciocínio espacial e fossem compostos a partir de 3 figuras-matriz iniciais, a combinação de pares pode ter gerado estímulos com maior ou menor dificuldade para a identificação de igualdade. Assim, como todos os participantes foram submetidos às mesmas condições do experimento, perceberam-se diferenças no número de acertos principalmente para o sexo masculino.

- Os resultados da avaliação realizada pela psicóloga através do subteste BPR5-RE, que têm como objetivo medir raciocínio espacial, mostraram que a área de conhecimentos das ciências exatas e tecnológicas teve um maior número de acertos no teste aplicado em comparação com o grupo de estudantes das áreas humanas e sociais. Mesmo que os resultados não possam ser correlacionados diretamente, concluiu-se que podem servir a uma base comparativa, pois mostram a mesma tendência em acertos que o questionamento verbal, sem considerar neste momento o fator gênero.
- As possibilidades de comparação resultantes destes experimentos que ainda podem ser exploradas na sequência deste trabalho são os estudos sobre as tendências do comportamento dos sinais cerebrais considerando os estímulos de forma individual; a análise da variável frequência considerando as subfaixas de frequência da banda Beta; a análise individual entre os sinais cerebrais dos participantes das diferentes áreas de conhecimento e os resultados das respostas verbais para cada figura, entre outras.

Considerando todas as observações feitas sobre os resultados encontrados, concluiu-se que as diferenças significativas encontradas nos sinais de variáveis estudadas entre as diferentes áreas de conhecimento apontam para a validação da hipótese de que existem diferenças entre diferentes perfis cognitivos, quando estimulados ao raciocínio espacial. Assim, recomenda-se, para futuras investigações sobre os diferentes perfis cognitivos, aceitando-se que demandem diferentes capacidades de raciocínio, a observação de indicadores biológicos de outras habilidades, como a matemática, a verbal, a social, etc.

Além da proposta de realização de outras avaliações cognitivas com diferentes perfis, sugere-se que uma nova pesquisa seja realizada com o mesmo grupo estudado ou com grupos que apresentem semelhantes resultados para o mesmo experimento, abordando outros tipos de

estímulo como leituras de texto e exercícios de raciocínio lógico. Ressalta-se ainda a importância de realizar comparação intra-áreas, como por exemplo: engenharia elétrica com engenharia mecânica sobre o atual banco de dados coletado.

Outra sugestão pertinente a atual pesquisa é a realização de novas abordagens matemáticas sobre os dados coletados. Também, como colaboração futura, pretende-se utilizar os resultados obtidos através dos experimentos modelados para esta tese, bem como de novos experimentos onde se possa avaliar em estudos longitudinais o desenvolvimento cognitivo de estudantes de diferentes áreas de conhecimento, para desenvolver objetos de aprendizagem virtuais adequados a cada perfil de estudante. Entende-se que os objetos virtuais possam, ao menos enquanto forma visual, ser personalizados para distintos perfis cognitivos, considerados sexo, idade, desempenho acadêmico, tempo de graduação (semestre em que está matriculado), etc. de forma que os mesmos possam aprender com o menor esforço cognitivo.

Assim, aceitando-se formulações apontadas pelo referencial teórico, a pesquisa conclui pela plausibilidade da idéia de que existem evidências a favor da hipótese das diferenças individuais, em termos de raciocínios espaciais, as quais podem impactar a prática pedagógica. Tal observação, baseada em metodologia científica, com apoio dos instrumentos das neurociências, complementa os objetivos do trabalho, de observar tais evidências e contribuir para que pesquisadores futuros possam otimizar os esforços cognitivos diferenciados, para a aprendizagem, a partir desta constatação.

Um último aspecto que deve ser considerado a partir da investigação realizada nesta tese é a proposta metodológica aplicada à área da saúde. O procedimento experimental que permitiu investigar o comportamento do sinal cerebral diante estímulos cognitivos poderá ser utilizado como técnica em pesquisas sobre a evolução do desenvolvimento cognitivo sadio e em padrões de doenças que se manifestam via alterações de frequência cerebral ou mesmo em alocações de recursos em diferentes lobos cerebrais.

## 6 REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. R. Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review*. 1982, 89, 369-406.
- ANDLER, Daniel. *Introdução às Ciências Cognitivas*. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 1998.
- ANGHINAH, Renato; Kanda, Paulo A. M.; Jorge, Mário S.; Melo, Antonio C. Paiva. *ELETRENCEFALOGRAMA QUANTITATIVO E TOPOGRÁFICO*. (Mapeamento Cerebral). Estudo do Padrão Normal para uma População Adulta. *Arq. Neuro-Psiquiatr.* vol.56 n.1 São Paulo Mar. 1998
- BACK, Franklin, Carra, Giovani, Spindola, Marilda, Oliveira, Alcyr. *DICTIONARY GAME AND PRISONER'S DILEMMA IN AN EEG STUDY ON MONEY DONATION. PSYCHOLOGY & NEUROSCIENCE*. v.2, p.1 - 22, 2009. DOI: 10.3922/j.psns.2009.2.013
- BALBINOT, Alexandre, Spindola, Marilda. Assessment of EEG signals with ERP technique in the cognitive attention process on 2D and 3D images In: *Brain inspired Cognitive System*, 2008, São Luis - Maranhão - Brasil. *BICS 2008 PROCEEDINGS - BIS*, 2008.
- BALBINOTTI, M. Projeto de Pesquisa: Construção e Análise das Qualidades Psicométricas de 3 Questionários Aplicáveis a Estudos de Psicologia e de Administração: Discutindo Motivações, Operações e Gestão Ambiental. Unisinos, 2003.
- BARTOŠOVÁ, Veronika; Vyšata, Oldřich; Procházka, Aleš. *GRAPHICAL USER INTERFACE FOR EEG SIGNAL SEGMENTATION*. Institute of Chemical Technology, Department of Computing and Control Engineering. Publicado in *Acta Press 2008 Visualization, Imaging, and Image Processing (VIIP 2008)* September 1 – 3, 2008. Palma de Mallorca, Spain.
- BASAR-EROGLU, C.; Strüber, D.; Schürmann, M; Stadler, M.; Basar E. Gamma-band responses in the brain: a short review of psychophysiological correlates and functional significance. *International Journal of Psychophysiology*. 1996, 24, 101-112.
- BEAR, M. F.; Connors, B. W.; Paradiso, M. A. (2002). *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 2 ed. Porto Alegre: Artmed.
- BEHRENS, M.A. Projetos de aprendizagem colaborativa num paradigma emergente. In: Moran, J.M.; Masetto, M.T.; Behrens, M.A. *Novas tecnologias e mediação pedagógica*. Campinas, SP: Papirus, p. 67-132, 2000.
- BENNING, Manj; Boyd, Stephen; Cochrane, Adam; Uddenberg, Derek. *The Experimental Portable EEG/EMG Amplifier*. <http://www.ece.uvic.ca/499/2003a/group11/thereport.pdf>> Acesso em 01/08/06.
- BRESSLER, SL. The gamma wave: a cortical information carrier? *TINS*. V. 13, p. 161-162, 1990.

BONINI-ROCHA, Ana Clara. Variáveis do Sistema Nervoso envolvidas no Processo de Aprendizagem de tarefa cognitivo-motora por violonistas. Tese de Doutorado. ESEF/UFRGS. 2008. 145p.

BRENNER, J. Student's Cognitive Styles in Asynchronous Distance Education Courses at a Community College, 1997.

CAMPELO, T. M. Aquisição e processamento de sinais bioelétricos neurofisiológicos intraoperatórios. Tese de doutorado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003, 305 p.

CAREY, J., McCoy D. Brain Facts: A PRIMER ON THE BRAIN AND NERVOUS SYSTEM. Society for Neuroscience. Canadá, 2006.

CARRA, Michel; Spindola Marilda; Balbinot, Alexandre. Desenvolvimento de um protótipo EEG como ferramenta para caracterização de sinais cerebrais em atividades relacionadas a raciocínio lógico. In: II Encontro Nacional de Biomecânica, 2007, Évora. Actas do II Encontro Nacional de Biomecânica 2007. Lisboa - Portugal : IST Press, 2007. v. I. p. 387-392.

COSTA, M. H. Derivação da fonte de sinais de EEG: correlação e mapeamento cerebral. Dissertação de Mestrado em Engenharia Biomédica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1994.

CUNHA, J. A. (2003). Psicodiagnóstico-V. Artmed, 2003. Porto Alegre, Brasil.

DAMÁSIO, A. O Erro de Descartes - Emoção, razão e o cérebro humano. Companhia das Letras. SP, 1996. ISBN: 85-7164-530-2

DE SMEDT, Bert; Grabner, Roland H.; Studer, Bettina. Oscillatory EEG correlates of arithmetic strategy use in addition and subtraction Published online: 19 May 2009. Springer-Verlag 2009 Exp Brain Res (2009) 195:635–642 DOI 10.1007/s00221-009-1839-9.

DEBENER, Stefan; Makeig, Scott; Delorme, Arnaud; Engel, Andreas K. (2005) What is novel in the novelty oddball paradigm? Functional significance of the novelty P3 event-related potential as revealed by independent component analysis. Cognitive Brain Research, 22, (3), 309-321. (doi:10.1016/j.cogbrainres.2004.09.006) <http://eprints.soton.ac.uk/27564/>

DEL NERO, Henrique. O Sítio da Mente. 1ª. ed. São Paulo: Collegium Cognition Ltda, 1997. v. 6000. 510 p.

FELDER, Richard M , Litzinger, Thomas A, Lee, Sang Ha, Wise, John C. A Psychometric Study of the Index of Learning Styles. Journal of Engineering Education, Oct 2007.

FONSECA, L. C.; Tedrus, G. M.; Martins, S. M., et al. "Quantitative electroencephalography in healthy school-age children: analysis of band power". Arq. Neuro-Psiquiatr, Vol.61, No.3B, Sept. 2003, pp.796-801.

GARDNER, H. Estruturas da Mente: A Teoria das Inteligências Múltiplas. Porto Alegre: Artes Médicas. 1994.

GARDNER, H. Inteligência: múltiplas perspectivas. Tradução Maria Adriana Veríssimo Veronese. Porto Alegre: Artmed. 1998

GARDNER, H. Inteligência: um conceito reformulado. Ed. Objetiva, RJ, 2001.

GARDNER, H. Mentes que mudam: a arte e a ciência de mudar as nossas idéias e as dos outros – Porto Alegre: Artmed/Bookman, 2005.

GARRIDO, S. M. L. Modelagem de um jogo/teste (jcp) para detecção de percepção e representação humanas através de um ambiente digital utilizando análise eletroencefalográfica. <http://www.ricesu.com.br/ciqead2005/trabalhos/26.pdf>, RICESU, 2005.

GAZZANIGA, Michael; Ivry, Richard; Mangun, George R. Neurociência Cognitiva: a biologia da mente – 2ª edição. Artmed. 2006

GEAKE, John Gregory. The neurological basis of intelligence: A contrast with 'brain-based' education. Westminster Institute. Oxford Brookes University. Paper presented at the British Educational Research Association Annual Conference: Neuroscience and Education: the emerging dialogue symposium. University of Glamorgan, 14-17 September 2005. Acesso em: <http://www.leeds.ac.uk/educol/documents/156074.htm>

GEVINS, A.S.; Zeitlin, G.M.; Yingling, C.D.; Doyle, J.C.; Dedon, M.F.; Schaffer, R.E.; Roumasset, J.T.; Yeager, C.L. EEG Patterns during 'cognitive' tasks. I. Methodology and analysis of complex behaviors. *Eletroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1979, 46, p. 693-703.

GREEN, Fara R. Brain and learning research: Implications for meeting the needs of diverse learners. *Education*, Summer 1999. Acesso em: [http://findarticles.com/p/articles/mi\\_qa3673/is\\_199907/ai\\_n8855124?tag=artBody:coll](http://findarticles.com/p/articles/mi_qa3673/is_199907/ai_n8855124?tag=artBody:coll)

GROSMANN, Murray; Cooke, Ayanna; DeVita, Chris; Alsop, David; Detre, John; Chen, Willis; Gee, James. Age-related changes in working memory during sentence comprehension: an fMRI study. Department of Neurology, University of Pennsylvania. 2002. Acesso em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?CMD=search&DB=pubmed>

GUIZHI, X., Ying, Z., Huijuan, H. and Weili, Y. Event-Related Potential Studies of Attention to Shape Under Different Stimuli Tasks. 2006

HARWANT, S. Gill; O'BOYLE, W. Michael. Sex Differences in Matching Circles and Arcs: A Preliminary EEG Investigation. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain, and Cognition* -

Volume 2, Number 1 / March 1, 1997. Acesso em:  
<http://www.ingentaconnect.com/content/psych/plat/1997/00000002/00000001/art00006>

HAYT, Jr., William, H. (2003). Eletromagnetismo, Ed. LTC, 6. Ed.

HARDIMAN, M.; DENCKLA, M. B. (2009). The Science of Education: Informing Teaching and Learning through the Brain Sciences. Acesso em 30/12/2009 de <http://www.dana.org/news/cerebrum/detail.aspx?id=23738>

HOUZEL, Suzana H-. O Cérebro Nosso de Cada Dia – descobertas da neurociência sobre a vida cotidiana. 3a edição, Vieira e Lent, Rio de Janeiro, 2002.

HRUBY, T. , Marsalek, P. Event-Related Potentials - the P3 Wave. University Prague, Department of Psychiatry, First Medical Faculty, Acta Neurobiologiae Experimentalis. Exp. 2003, 63: 55-63

IMBERT, Michel. Neurociências e Ciências Cognitivas. In: ANDLER, Daniel (org.). **Introdução as Ciências Cognitivas**. Trad. De Suzana Maria Marc Amoretti. São Leopoldo: UNISINOS, 1998. p.55-75.

JOHN, E. R. The neurophysics of consciousness , Brain Research Reviews 39 (2002) 1–28. Acesso em: <http://www.nmead.ufrgs.br/cursos/claroline/document/document.php>

KAPLAN, Wilfred, Cálculo Avançado, vol.1 e 2, Edgard Blucher Editora e EDUSP, (1972), São Paulo, Brasil.

KANDEL, Eric R.; Schwartz, James H. Principles of Neural Sciences, Second Edition. Elsevier, 1985.

KERI, Gabe. Male and female college students' learning styles differ: an opportunity for instructional diversification. College Student Journal, Sept, 2002. Acesso em: [http://findarticles.com/p/articles/mi\\_m0FCR/is\\_3\\_36/ai\\_95356596/pg\\_6?tag=artBody;coll](http://findarticles.com/p/articles/mi_m0FCR/is_3_36/ai_95356596/pg_6?tag=artBody;coll)

KUHNEN, U. T. Pensar à Oriental. – Viver Mente e Cérebro – dezembro de 2004.

LIMA, Ricardo F. de (2005). Compreendendo os mecanismos atencionais. Ciências & Cognição; Ano 02, Vol.06, nov/2005. Disponível em [www.cienciasecognicao.org](http://www.cienciasecognicao.org)

LOPES, C. Análise de sinais de EEG utilizando a transformada de Wavelets discreta e as redes neurais artificiais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005, 46 p.

LUCK, S. J.; Woodman, G. F., Vogel E K. “Event-related potential studies of attention”, Trends in Cognitive Sciences, vol. 4, No.11, November 2000, pp.432-440.

LUCK . Steve J. - An introduction to the event-related potencial technique, 2005.

MAJID, O.; Rahman, Z.A.; Ghani, N.A.; Saw Kim Guan; Idrus, R.M.; Atan, H. The Video Conferencing Learning Environment in Distance Education: A Study of the Interaction Pattern. Sixth International Conference on Advanced Learning Technologies, 2006. Volume, Issue , 05-07 July 2006. Page(s): 992 - 996

METTINGVANRIJN, A. C. ; Peper, A. ; Grimbergen, C. A. - Instrumentation Amplifiers for bioelectric events: a design with a minimal number of parts A. C., disponível em <<<http://www.biosemi.com/publications/artikel7.htm>>> Acessado em 01/08/06

MÜLLER, M. M., Andersen, S. K., Keil, A. Time Course of Competition for Visual Processing Resources between Emotional Pictures and Foreground Task. Cerebral Cortex Advance Access published online on December 5, 2007.

MONTGOMERY, D.C (2000), Design and Analysis of Experiments. John Wiley and Sons, New York, 5th Edition.

NATIONAL Instruments, Virtual Instruments – LabVIEW8.0 – 2007. Acesso em: <http://www.ni.com/>

NIEDERMEYER, E.; Silva, F.L. Eletcroencephalography. Basic Principles, Clinical Applications, and Related Field. 3. ed. Maryland: Willians & Wilkins, 1993.

NORONHA, A.P.P., Freitas, F.A., Ottati, F. Análise de Instrumentos de Avaliação de Interesses Profissionais. Universidade São Francisco. Psicologia: Teoria e Pesquisa. Set-Dez 2003, Vol. 19 n. 3, pp. 287-291.

OTT, Henry W. (1988) Noise Reduction Techniques in Electronic Systems, Ed. John Wiley & Sons, 2. Ed.

PAESE, Cíntia. Uso do SPSS – Material de Aula – parte 1. Curso ministrado pela professora Cíntia Paese na Universidade de Caxias do Sul em 2003.

PAPAFRAGOU, Anna; Hulbert, Justin; Trueswell, John. Does language guide event perception? Evidence from eye movements. Cognition, Volume 108, Issue 1, July 2008, Pages 155-184 2008.

PASQUALI, Luiz. Validade dos Testes Psicológicos: Será Possível Reencontrar o Caminho?. Psicologia. Teoria e Pesquisa, v. 23, p. 099-107, 2007.

PATE, Sali H.; Azzam, Pierre N. Characterization of N200 and P300: Selected Studies of the Event-Related Potential Int J Med Sci. 2005; 2(4): 147–154. Published online 2005 October 1.

PESSOA, L.; Kastner, S. & Ungerleider, L. G. (2003). Neuroimaging studies of attention: from modulations sensory processing to top-down control. The Journal of Neuroscience, 15 (10), 3990-3998.

PETERS, J. - Active Electrodes for modular EEG. Disponível em <<http://uazu.net/eeg/ae.html>>>Acessado em 01/08/06.

PETERS, Michael; Battista, Christian. Applications of mental rotation figures of the Shepard and Metzler type and description of a mental rotation stimulus library Department of Psychology, University of Guelph, Ont., Canada N1G 2Z5. Volume 66, Issue 3, April 2008, Pages 260-264. Brain and Cognition.

PFURTSCHELLER, G.; Neuper, C.; Kalcher, J. 40-Hz Oscillations during behavior in man. Neuroscience Letters. V. 164, p. 179-182, 1993.

PINKER, S. Como a Mente Funciona. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

PINKER, S. Tabula Rasa: a negação contemporânea da natureza humana. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

PRIMI, Ricardo; Almeida, Leandro S. Estudo de Validação da Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5). Psicologia: Teoria e Pesquisa Maio-Ago 2000, Vol. 16 n. 2, pp. 165-173

RIBEIRO, Luis Otoni; Timm, Maria Isabel; Becker, Fernando; Zaro, Milton Antonio. (2005) GCETE Global Congress on Engineering and Technology Education March 13 - 16, 2005, São Paulo, Brazil. Monitoramento da atividade cognitiva através de EEG e seu uso potencial na avaliação de ambientes virtuais de aprendizagem e simuladores.

RIBEIRO, José Luís Duarte (2007), Material de Suporte: Projeto de Experimentos. Porto Alegre, Brasil.

ROBERTS, J. E.; e Bell, M. A. Sex Differences on a Mental Rotation Task: Variations in Electroencephalogram Hemispheric Activation Between Children and College Students. Department of Psychology, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2000.

ROBERTS, J. E.; e Bell, M. A. Two- and three-dimensional mental rotation tasks lead to different parietal laterality for men and women. Department of Psychology, Armstrong Atlantic State University, 2003.

SATEPSI - SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE TESTES PSICOLÓGICOS (2002), Serviço online do Conselho Federal de Psicologia. Disponível em <http://www2.pol.org.br/satepsi/sistema/admin.cfm>

SIOK, W. T. Cada língua uma sentença – Viver Mente e Cérebro – janeiro de 2005.

SCHULTZ, Duane P.; Schultz, Sydney E. História da Psicologia Moderna. São Paulo, SP: Editora Cultrix, 1992.

SHEPARD, Roger N.; Metzler, Jacqueline. Mental Rotation of Three-Dimensional Objects. Department of Psychology. February, 1971: Vol. 171. no. 3972, pp. 701 – 703 DOI: 10.1126/science.171.3972.701. Stanford University, Stanford, California.

SHOJI, Hiroaki; Skrandies, Wolfgang. ERP topography and human perceptual learning in the peripheral visual field. International Journal of Psychophysiology. Volume 61, Issue 2, August 2006, Pages 179-187. Acesso em: [linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167876005002552](http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167876005002552).

SPINDOLA, Marilda; Carra, Michel; Timm, Maria Isabel; Zaro, Milton Antonio; Schnaid, Fernando. (2007). Em busca de um padrão cognitivo na engenharia In: ICECE 2007 Conferência Internacional em Educação em Engenharia e Computação, 2007, Monguaguá e Santos. Anais do ICECE 2007 - Acesso: <http://www.copec.org.br/icece2007/port/index.htm>

SPINDOLA, Marilda; Carra, Michel; Timm, Maria Isabel; Zaro, Milton Antonio; Schnaid, Fernando. (2007a). Em busca de um padrão cognitivo na engenharia In: CИСCI 2007 - 4º SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE EDUCAÇÃO, CIBERNÉTICA E INFORMÁTICA (SIECI 2007) no contexto da 6ª Conferência Ibero-Americana em Sistemas, Cibernética e Informática (CИСCI 2007) Orlando, Florida, E.U.A. Anais do SIECI 2007 - Acesso: <http://www.confer-info.org/sieci2007>

SPINDOLA, Marilda; Balbinot, Alexandre; Carra, Giovani; Zaro, Milton Antonio. ERP como técnica de investigação sobre padrões cognitivos evocados com estímulos visuais 2D e 3D. In: International Conference on Engineering and Technology Education, INTERTECH'2008., 2008, Santos, SP. Proceedings, International Conference on Engineering and Technology Education. Peruibe - SP: ed III - COPEC - Council of Researches in Education and Sciences IV. v. 1. p. 73-74.

STERNBERG, R.J. Psicologia Cognitiva. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

TEN CATEN, Carla (2007), Material de Suporte: Probabilidade e Estatística. Porto Alegre, Brasil.

TIMM, M.I., Elaboração de projetos como estratégia pedagógica para o ensino de Engenharia (curso à distância de projeto no modelo e-learning-by-doing), tese de doutorado. Orientador: Prof. Fernando Schnaid, Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

TSIANOS, N., Germanakos P., Lekkas Z., Mourlas C., Samaras G., "Eye-Tracking Users' Behavior in Relation to Cognitive Style within an E-learning Environment," icalt, pp.329-333, 2009 Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, 2009.

VEIGA, Heloisa; Deslandes, Andréa; Cagy, Maurício; McDowell, Kaleb; Pompeu, Fernando; Piedade Roberto; Ribeiro, Pedro. VISUAL EVENT-RELATED POTENTIAL (P300): A normative study. Arq Neuropsiquiatr 2004;62(3-A):575-581.

WECHSLER, Solange Muglia; Schelini, Patricia Waltz. Bateria de Habilidades Cognitivas Woodcock-Johnson III:Validade de Construto. Psicologia: Teoria e Pesquisa. Set-Dez 2006, Vol. 22 n. 3, pp. 287-296

WEYNE, Gastão Rúbio de Sá. Arq. Med. ABC v. 29 no 2 Jul/Dez 2004. Acesso em : <http://www.fuabc.org.br/admin/files/revistas/29amabc087.pdf>

WESTERFIELD, Marissa; Jung, Tzyy-Ping; Covington, James; Townsend, Sejnowski, JeanneTerrence, Makeig, Scott e Courchesne, Eric. a-Functionally Independent Components of the Late Positive - Event-Related Potential during Visual Spatial Attention. Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences 354:1135-44, 1999.

WIELKIEWICZ, Richard M. SPSS Online Guide. Copyright 2000 The McGraw-Hill Companies. Acesso em <http://www.mhhe.com/socscience/psychology/runyon/spss/spss.html>.

## **ANEXO A – TERMO DO COMITÊ DE ÉTICA**

**Universidade de Caxias do Sul  
Centro de Ciências Exatas, da Natureza e Tecnológicas  
Departamento de Engenharia e Informática  
Curso de Engenharia Elétrica**

### **Termo de Consentimento Livre e Esclarecido -TCLE**

#### **Projeto de Pesquisa:**

Eletroencefalografia como instrumento avaliador de habilidade espacial

#### **Informações sobre o projeto:**

O projeto caracteriza-se por investigação de padrões de sinais cerebrais, em seres humanos, evocados durante a realização de uma atividade cognitiva relacionada com a habilidade visoespacial. A finalidade maior nessa pesquisa é a utilização do equipamento EEG como instrumento de investigação de habilidades e perfis cognitivos (se o investigado tem um potencial vocacional para a área de ciências exatas ou para a área de ciências humanas). Para tanto, é necessário que haja uma coleta de sinal humano, ou seja, que se possa medir o sinal cerebral através de eletrodos dispostos no escalpo humano (são colocados sensores para sinais cerebrais posicionados na cabeça do sujeito do experimento), sem causar qualquer tipo de desconforto físico ou dor enquanto um experimento prático envolvendo conhecimentos de raciocínio lógico e espacial é executado. Os sinais cerebrais coletados serão analisados matematicamente e se espera poder relacionar esses resultados com habilidades específicas diagnosticadas previamente por testes de aptidão (testes psicológicos para identificação de habilidades visoespaciais).

#### **Procedimentos, Riscos e Desconfortos:**

Para a realização do experimento é necessário dispor de pelo menos uma hora para a coleta do sinal no experimento completo. Serão realizadas três ou mais atividades, com intervalos de 10 minutos. Antes de cada sessão realizada (em cada coleta de sinal) será comunicado detalhadamente sobre a atividade a ser executada. O participante será informado sobre o tempo necessário para coleta de sinal base, sobre a necessidade de o estudante ficar relaxado e tranquilo e também sobre o que lhe será mostrado em tela do computador. As atividades são seqüenciais e fazem parte de um teste da psicologia cognitiva-psicometria, denominado Wais. Ao participante será solicitado avaliar uma imagem e responder em voz alta uma letra de resposta para cada imagem vista. Após será solicitado que aperte um botão para passar para a próxima imagem. Será reservado o direito de optar por não querer participar a qualquer instante durante os procedimentos.

È importante ressaltar que não será ministrado nenhum tipo de medicamento, e nenhuma outra conduta relativa a segregação de grupos será realizada (como por exemplo fazer parte de um grupo de controle ou não). Também é necessário saber que lhe será colocada uma touca com eletrodos em sua cabeça e será colocado um gel para melhorar os contatos dos eletrodos do EEG. Será realizado um teste prévio com o gel para verificar se não apresenta reações alérgicas ao produto, Esse procedimento é totalmente indolor e não causa nenhum tipo de

dano físico ou nenhum dano a reputação moral. Não há riscos para a saúde ou integridade física nem seqüelas imediatas ou tardias. O estudante estará em ambiente isolado, sem observadores que não sejam somente os pesquisadores responsáveis.

**Benefícios:**

Os resultados dessa pesquisa podem contribuir para uma descoberta sobre as habilidades vocacionais (no quesito habilidade visoespacial) de uma pessoa, com apoio de tecnologia quantitativa, validando significativamente o que hoje é feito com os testes puramente psicológicos. Os resultados serão utilizados como aporte para a fundamentação de novas pesquisas propostas na área que buscam investigar novos padrões de comportamento cognitivo, aprofundando mais o tema sobre a atenção e habilidades cognitivas. Também poderão ser descobertas as habilidades para aprendizagem e assim os professores poderão direcionar melhor suas práticas àqueles grupos alunos identificados com determinado perfil de aprendiz.

Os possíveis benefícios para o estudante nesta pesquisa estão relacionados a participação na importante pesquisa na área do ensino-aprendizagem que envolve aspectos cognitivos visoespaciais. Os conhecimentos aqui obtidos serão descritos em congressos científicos e trabalhos na literatura especializada, guardando o anonimato e não utilização de imagem pessoal.

**Voluntariedade:**

Fica assegurado por este termo que o voluntário tem o direito de não participar ou de se retirar do estudo, a qualquer momento, sem que isto represente qualquer tipo de prejuízo para o seu atendimento dentro da instituição onde o projeto está sendo realizado. Todas as dúvidas que surgirem em relação à pesquisa ou a participação do voluntário, antes ou depois do consentimento, serão respondidas pela pesquisadora Marilda S. Chiaramonte, no endereço e telefones citados ao final deste termo. Os Comitês de Ética em Pesquisa que aprovaram este termo podem ser contatados na UCS – Caxias do Sul.

**Confidencialidade, Privacidade e Anonimato:**

Por este termo ficam garantidas a confidencialidade e privacidade às informações coletadas. O pesquisador fica comprometido formalmente, quando da sua divulgação dos resultados do projeto, com a preservação do anonimato dos participantes do estudo. Isto inclui a não utilização de iniciais, números de registros em instituições e outras formas de cadastros pessoais e institucionais.

Este documento é preenchido em duas vias, ambas identificadas com o nome do participante e do representante legal, se houver; datadas e assinadas, sendo uma retida pelo sujeito da pesquisa, ou por seu representante legal, e outra arquivada pelo pesquisador.

Eu, \_\_\_\_\_, CPF \_\_\_\_\_, ou meu representante legal, \_\_\_\_\_, CPF \_\_\_\_\_, li e estou de acordo com os termos deste documento que está de acordo com as normas institucionais estabelecidas e submetidas ao Comitê de Ética de Pesquisa da UCS. Entendo que minha colaboração é espontânea e sem honorários, e desde já estou ciente que os dados coletados (sinais elétricos por EEG) relativos a minha pessoa serão usados tão somente para a pesquisa.

**(Resolução, 196/96, II.11)**

Nome do voluntário: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Data: \_\_/\_\_/\_\_

Eu, Marilda Spindola Chiaramonte, CPF 435752930-15, certifico que expliquei ao participante acima a natureza e o propósito, os benefícios potenciais e os possíveis riscos associados com a participação neste estudo de pesquisa, respondi todas as questões que me foram levantadas e testemunhei a assinatura acima. Furneci uma cópia deste documento de consentimento assinado pelo participante ao mesmo.

Assinatura: \_\_\_\_\_

Data: \_\_/\_\_/\_\_

Este formulário foi lido para.....  
(participante) em ...../...../..... por Marilda Spindola Chiaramonte enquanto eu estava presente.

Assinatura da Testemunha: .....

Nome da Testemunha: .....

Data: ...../...../.....

**Pesquisador Responsável: Marilda Spindola Chiaramonte****CPF: 435752930-15****Universidade de Caxias do Sul – UCS\_BENTO -Laboratório de Biosinais – Engenharia Elétrica - Endereço: Al. João Dal Sasso 800 – Prédio D – sala D307 - Bento Gonçalves – RS - Telefone para contato: 3452-1118 Ramal 2908**

**ANEXO B – 2º ENCONTRO NACIONAL DE BIOMECÂNICA, PORTUGAL, 2007****DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO EEG COMO FERRAMENTA PARA  
CARACTERIZAÇÃO DE SINAIS CEREBRAIS EM ATIVIDADES RELACIONADAS  
A RACIOCÍNIO LÓGICO****Michel Carra<sup>\*</sup>, Marilda Chiaramonte<sup>\*</sup>, Márcio Chiaramonte<sup>\*</sup> e Alexandre Balbinot<sup>\*</sup>**

<sup>\*</sup> Universidade de Caxias do Sul – Campus Universitário da Região dos Vinhedos  
Alameda João Dal Sasso, 800 – 95700-000 – Bento Gonçalves – RS – Brasil  
Grupo de Pesquisa em Processamento e Modelagem de Sinais Bioelétricos  
e-mail: abalbinot@gmail.com

**Palavras-Chave:** EEG, Processamento Digital de Sinais (DSP), LabVIEW

**Resumo.** *Esse trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema para permitir a avaliação e caracterização do raciocínio lógico através de sinais capturados por EEG. O equipamento de eletroencefalografia (EEG) com eletrodos não-invasivos foi projetado utilizando um sistema de aquisição pela plataforma LabVIEW. O sistema está sendo validado com experimentos clássicos da Neurologia e Psicologia, como o “Paradigma oddball” para posteriormente ser utilizado em experimentos com metodologias neurocientíficas e modelamento matemático por wavelets, na busca de padrões de sinais cerebrais que possam representar indicadores de aprendizagem ou desordens em aprendizagem, sobretudo em áreas de conhecimento complexo.*

## 1 INTRODUÇÃO

Por muito tempo cientistas das áreas da saúde, educação, psicologia, comunicação, engenharia, entre outras, tem buscado o entendimento sobre o funcionamento das bases neuronais do cérebro humano com o objetivo de identificar padrões de saúde/doença e compreender o processo de aprendizagem, tanto o evolutivo como o adaptativo e ontológico. Os diversos resultados apresentados por cientistas indicam que há diferenças, em alguns casos significativas, entre os processos de aprendizagem nos cérebros de homens e mulheres, crianças e adultos, ocidentais e orientais [1].

Considerando que o desenvolvimento das habilidades cognitivas, como a manipulação espacial de objetos, a construção do raciocínio lógico e abstrato e todo o conhecimento complexo é dependente de pré-requisitos inatos, assim como da interação com o meio cultural, familiar, geográfico, etc. [2], torna-se necessário o entendimento sobre a aquisição do conhecimento nessas duas vias: inata e cultural. As idéias apresentadas por Pinker [2] apóiam o desejo de neurocientistas, cientistas e pesquisadores de diferentes áreas, em investigar as diferenças dos processos de aprendizagem cognitiva e motora em seres humanos.

Associando essas premissas a realidade educacional nas áreas de engenharia, o Grupo de Pesquisa em Processamento e Modelagem de Sinais Bioelétricos – Professores Pesquisadores da Universidade de Caxias do Sul (UCS\_CARVI – Brasil) vem desenvolvendo metodologia com o objetivo maior de identificar padrões em sinais cerebrais, de estudantes de engenharia e engenheiros, que possam estar relacionados com a aprendizagem de conteúdos complexos e também com possíveis habilidades adquiridas ou inatas apropriadas ao desenvolvimento profissional.

## 2 MODELO EXPERIMENTAL PARA ANÁLISE DE SINAL BIOLÓGICO

Pela via da neurociência, a pesquisa experimental educacional, em laboratórios, tem sido desenvolvida com técnicas que envolvem instrumentação com eletroencefalografia - EEG, com ressonância magnética, fmRI, entre outras [3]. Os sinais cerebrais adquiridos são modelados matematicamente com o objetivo de encontrar padrões de comportamento cognitivo quando o sujeito do experimento se encontra em processo de aprendizagem. Embora muitos modelos teóricos sobre a aquisição do conhecimento tenham sido propostos, a validação dos mesmos depende de experimentos bem elaborados e que estejam afinados com o uso da tecnologia.

A instrumentação médica e os procedimentos necessários à realização de medidas quantitativas envolvem a necessidade de formação de grupos para sujeitos da pesquisa, a não possibilidade de instrumentação invasiva ao cérebro em sujeitos sadios e a complexidade do processo de aquisição externa dos sinais cerebrais que apresentam níveis de tensão da ordem de microvolts, em frequências baixas e com ruídos significativos. Ainda deve-se considerar que os equipamentos são desenvolvidos para a área da Neurologia clínica, direcionados para a investigação da saúde, e não para a pesquisa educacional, além de muitos equipamentos não utilizarem softwares com funções aplicáveis a quantificações matemáticas ou com a possibilidade de caracterização de um modelo funcional do cérebro humano em processo de aprendizagem.

Em função dessas dificuldades e da necessidade e possibilidade de testar diferentes modelos matemáticos sobre os sinais coletados, os pesquisadores do Laboratório do Curso de Engenharia Elétrica da UCS\_CARVI, optaram por desenvolver um eletroencefalograma de baixo custo, com tecnologia de aquisição de sinais cerebrais apoiada em plataformas de hardware pré-existent [4]-[5], e software de digitalização e processamento dos sinais, baseado na plataforma LabVIEW[6].

### 2.1 Desenvolvimento da plataforma EEG

Sinais cerebrais característicos em EEG apresentam uma amplitude da ordem de microvolts e uma faixa de frequência de até 3kHz, porém a faixa de maior energia potencial está entre 0,03 e 60Hz. Considerando que esse sinal gerado é o de interesse de pesquisa, o hardware foi projetado para capturá-lo com o menor ruído possível.

Para a construção do EEG, considerou-se o princípio de funcionamento de um protótipo EMG (eletromiógrafo), adaptando a teoria e o sistema de captura de sinais em função das características individuais dos sinais cerebrais. Várias técnicas para condicionamento dos sinais foram utilizadas, como o uso de cabos com eletrodos comuns ou ativos (com buffer próximo ao eletrodo para diminuir a impedância de contato entre a pele e o sistema de amplificação do sinal), blindagem dos cabos e sistema de referência (terra), para a eliminação dos ruídos e melhoria da qualidade do sinal capturado. A figura 1 apresenta o diagrama em blocos do hardware do EEG com seus respectivos estágios.

1º estágio: Eletrodo ativo com buffer para diminuir e casar a impedância.

- 2º estágio: amplificador de instrumentação ganho: 12,4 vezes  
 3º estágio: amplificador não inversor com ganho variável ganho: 2 a 101 vezes  
 4º estágio: filtro ativo passa baixa de 4º ordem Bessel fc: 250 Hz com ganho 84 vezes.  
 5º estágio: amplificador isolador - filtros RC para remover a componente DC

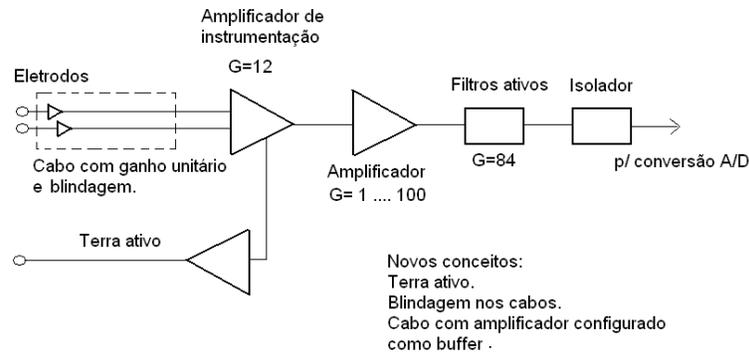


Figura 1 – Diagrama em blocos do hardware do EEG

O sinal capturado no hardware do EEG é convertido digitalmente (ADC) através da placa de conversão de 16 bits da National Instruments (PCI-MIO-16E-1). Este sistema é o responsável pela transformação dos dados analógicos adquiridos em dados digitais para posterior processamento pelo software LabVIEW, também da National Instruments. A figura 2 mostra a programação através de diagramas de bloco, realizada no LabVIEW, para a aquisição e análise dos dados.

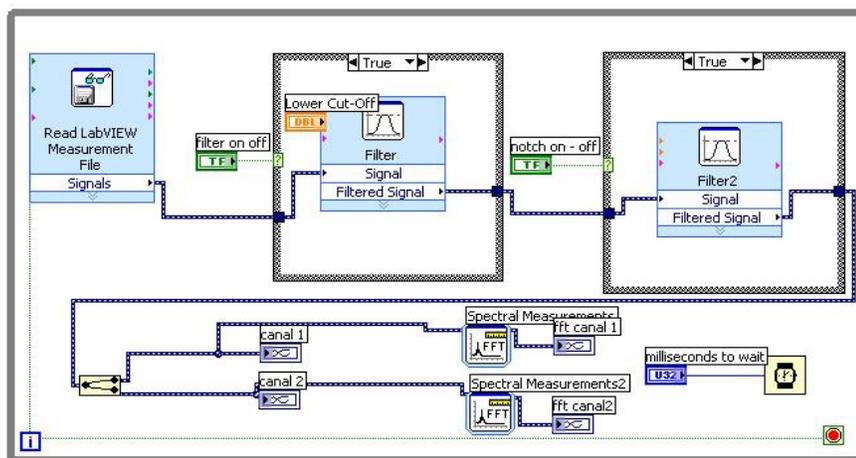


Figura 2 – Programa de aquisição do sinal pelo LabVIEW

## 2.2 Validação da Plataforma EEG com o experimento “Paradigma *oddball*”

A fase atual da pesquisa está em validar o equipamento EEG projetado, juntamente com a qualificação do grupo para atuar em projetos relacionados a tratamento de sinais bioelétricos. Para tanto buscou-se repetir o experimento conhecido como paradigma *oddball*, valendo-se dos mesmos procedimentos já publicados por vários outros grupos de estudo nessa área [7]. Os sinais avaliados serão os sinais ERPs que são potenciais de ação (sinal cerebral) evocados a partir de estímulos externos, capturados no escalpo entre os pontos Cz, Pz referenciados pelo mastóide. O sinal ERP relacionado ao experimento *oddball* é da ordem de 2 a 3 microvolts e aparece em torno de 300ms após o estímulo, o que confere ao sinal o nome de onda P300 ou P3. Ao sujeito é apresentada uma seqüência de imagens (um padrão, na proporção de 80% de Xs e um não padrão, 20% de Os)

de forma aleatória. Os sinais são expostos por um período de 100ms alternados por tempos sem estímulo de 1400ms. O efeito causa alterações na latência do sinal EEG e pode-se perceber a ocorrência de picos de tensão significativos, sincronizados com o evento não-padrão.

A programação do experimento foi realizada no LabVIEW, conforme apresenta a figura 3, optando-se por pré-definir a disposição das imagens de forma manual. Esse entendimento permitiu maior controle sobre as variáveis do experimento. Após a aquisição do sinal, realizada em ambiente com o mínimo ruído possível gerado em baixas frequências, os sinais foram filtrados (filtro notch e passa-baixas) e realizada a média do sinal no tempo, obtendo-se como resposta o sinal com ponto de deflexão em torno de 350ms, como esperado (figura 4).

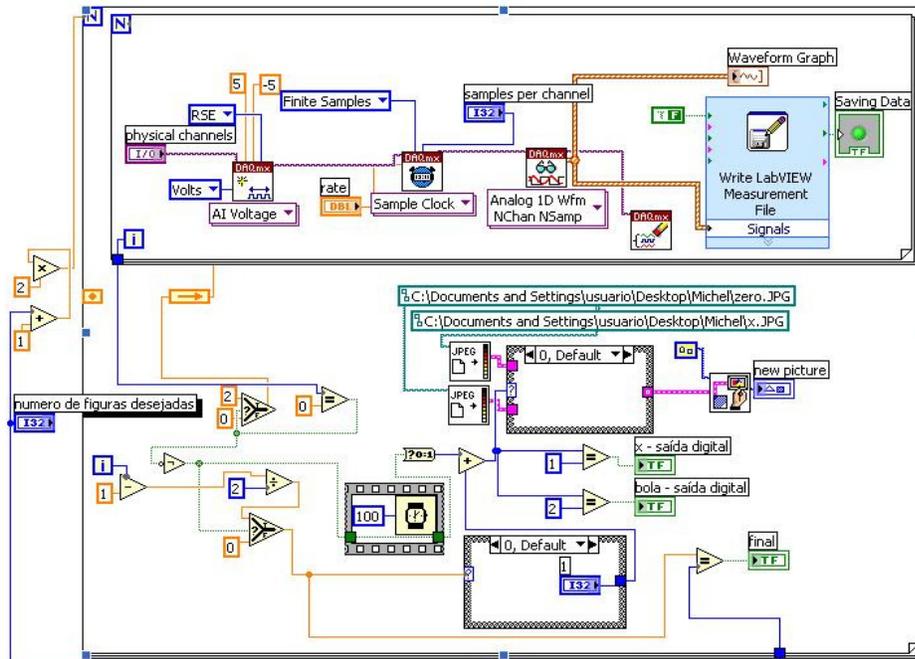


Figura 3 – Aquisição do sinal e programação do experimento *oddball*

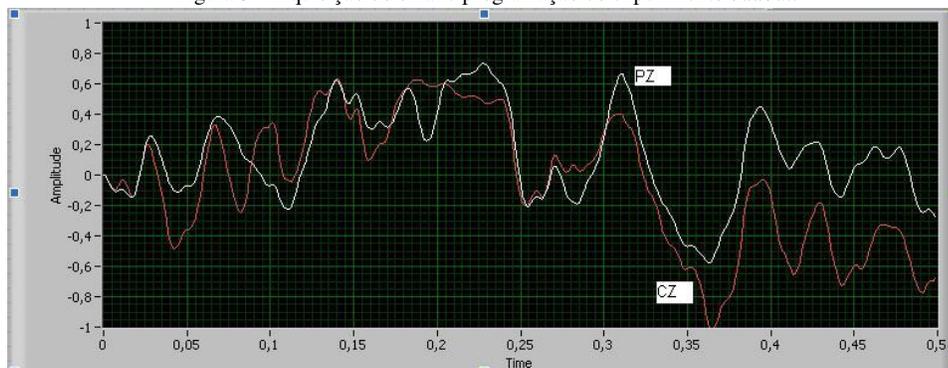


Figura 4 – Média dos sinais adquiridos da imagem O (não padrão) apresentada

Diante dos resultados obtidos, novos experimentos serão realizados possibilitando o avanço da pesquisa para a próxima fase, onde será modelado o experimento que deverá avaliar padrões cognitivos de estudantes de engenharia e engenheiros.

### 3 RESULTADOS E CONCLUSÕES

O projeto EEG está em desenvolvimento, evoluindo na etapa de validação dos sinais obtidos pelo mesmo. Após as várias etapas de melhorias no hardware do EEG, através de sucessivos testes com diferentes sistemas de

amplificação e eletrodos de captura, optou-se por amplificadores bipolares. Na seqüência do projeto serão realizados procedimentos para melhorias na captura do sinal, através da construção de uma gaiola de Faraday.

O desenvolvimento de um EEG para a pesquisa permite que os sinais cerebrais adquiridos em diferentes experimentos possam ser modelados com diferentes técnicas matemáticas em distintos sistemas de aquisição, com um conhecido grau de confiabilidade no processo de digitalização.

A pesquisa que está sendo realizada pretende agregar valor às áreas científicas e tecnológicas, através de metodologia científica aplicada à questão educacional, bem como o desenvolvimento de tecnologia para monitoramento de atividades experimentais nesta área. Pretende ainda contribuir para as discussões existentes hoje sobre as condições cognitivas de aprendizes com perfis específicos de diferentes áreas de conhecimento, além de, como subproduto, dar suporte à área da saúde com resultados que possam gerar novas técnicas de abordagem para a avaliação neurológica.

Também deverá abordar o funcionamento cognitivo humano em geral, focalizando os processos de aprendizagem que envolvam conteúdos complexos e raciocínios lógico-espaciais em particular, como o dos aprendizes das áreas de Engenharia. Pretende-se fundamentar o desenvolvimento de um modelo matemático desse aprendizado, de forma a permitir a realização de simulações sobre resultados de diferentes métodos de acesso aos conteúdos, bem como explorar metodologias de base neurocientífica (eletroencefalografia, entre outras) e fundamentações teóricas das áreas de educação e cognição (Ciências Cognitivas e Psicometria).

## REFERÊNCIAS

- [1] Devlin, Keith – The Math Gene, Weidenfeld & Nicolson, Great Britain, 2000
- [2] Pinker, S. - Tabula Rasa – a negação contemporânea da natureza humana. São Paulo, Companhia das Letras, 2002.
- [3] Houzel, S. H - O Cérebro Nosso de Cada Dia – descobertas da neurociência sobre a vida cotidiana. 3a edição, Vieira e Lent, Rio de Janeiro, 2002.
- [4] Active Electrodes for modular EEG, acesso em <<http://uazu.net/eeg/ae.html>>> Acessado em 01/08/06.
- [5] The Experimental Portable EEG/EMG Amplifier, disponível em <[www.ece.uvic.ca/499/2003a/group11/thereport.pdf](http://www.ece.uvic.ca/499/2003a/group11/thereport.pdf)> Acessado em 01/08/06.

**ANEXO C – ARTIGO SUBMETIDO E APROVADO ICECE2007**

published in Proceedings of ICECE'2007 – International Conference on Engineering and Computer Education,  
that happens in Monguagua, Brazil, March 11 - 14, 2007

## EM BUSCA DE UM PADRÃO COGNITIVO NA ENGENHARIA

Marilda Spindola Chiaramonte<sup>1</sup>, Michel Carra<sup>2</sup>, Maria Isabel Timm<sup>3</sup>, Milton Antonio Zaro<sup>4</sup>, Fernando Schnaid<sup>5</sup>

**Resumo** - O artigo apresenta considerações sobre os processos de ensino e aprendizagem de engenheiros e suas reais necessidades de conhecimento para a adaptação natural ao mercado atual. Considerando que os estudantes devem envolver-se em processos cognitivos complexos e avançados durante o curso, supõe-se que tenham (apriori) ou desenvolvam um perfil específico da área. E a partir dessa premissa o grupo interdisciplinar UFRGS e UCS, apoiado pela Neurociência e pela Psicométrie, está desenvolvendo pesquisa, baseada na análise de sinais cerebrais, capturados por EEG (eletroencefalografia). O objetivo é verificar se há um perfil cognitivo de engenheiros, avaliar e propor novos métodos pedagógicos que possam auxiliar em processos de ensino e aprendizagem de conteúdos complexos.

**Palavras-chave** - Ensino de engenharia, eletroencefalografia, modelos pedagógicos para engenharia, perfil cognitivo.

**Abstracts** - The article presents considerations about learning and teaching process of engineers and their real knowledge needs to meet current market necessities. Taking into consideration that students need to get involved in complex and advanced cognitive process during the course, it is expected that they have a previous capacity or develop this profile. Thinking about it, the interdisciplinary group formed by investigators of the UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) and UCS (Universidade de Caxias do Sul), supported by neuroscientists and psychologists are developing a research with EEG analysis. The main purpose is to verify the possibility of a cognitive engineer profile, evaluate and propose new pedagogical methods to help the teaching and learning process of complex and scientific subjects.

**Index Terms** - Engineering teaching and learning, electroencephalography, pedagogical methods, cognitive perfil.

### CONTEXTUALIZAÇÃO

O mercado profissional contemporâneo está cada vez mais exigente quanto à qualificação dos profissionais egressos nas diversas áreas e o contexto do profissional das áreas tecnológicas e das engenharias é ainda mais competitivo. O profissional da engenharia necessita reunir os conhecimentos teóricos e práticos que fazem parte historicamente da formação dos engenheiros, moldados a partir das ciências e da matemática, além de novas competências e habilidades, como a comunicabilidade, a flexibilidade e a criatividade, que garantam sua atuação bem sucedida nesse mercado [22]. Para tanto, a escola deve proporcionar métodos didático-pedagógicos que sejam bem adaptados ao perfil desse novo estudante. Ao longo dos últimos anos, vários pesquisadores têm buscado compreender esse perfil cognitivo e profissional, para desenvolver os referidos métodos didático-pedagógicos com base sólida na compreensão das necessidades cognitivas que serão desenvolvidas na formação do novo engenheiro. Nesse artigo, se apresentará a neurociência como instrumento possível para apoiar esta pesquisa pelo perfil profissional, apontando uma revisão das ferramentas atuais utilizadas como suporte pedagógico, bem como das estratégias educacionais que estão apoiadas em epistemologias com abordagem ampla sobre a aquisição do conhecimento.

A investigação sobre o cérebro, na busca de respostas ao comportamento e ao pensamento humano, remonta ao final do século XIX, quando pesquisadores das áreas da psicologia, fisiologia e filosofia, principalmente, apoiavam-se nas teorias mecanicista, estruturalista, funcionalista, comportamentalista e psicanalítica, entre outras, para desenvolver esse entendimento [18]-[21]. O interesse por essa questão se propaga aos dias atuais, com destaque à abordagem multidisciplinar, envolvendo áreas do conhecimento tais como a Psicologia Cognitiva, Ciências Cognitivas, Linguística, Computação (Inteligência Artificial) e Neurociências, entre outras [15].

A área da Neurociência, agregada a tecnologias de ponta, tem sido responsável por descobertas significativas sobre o funcionamento do cérebro, incluindo os processos de interesse a área da Educação, ou seja, aqueles que respondem pela aprendizagem humana [11]. Muitos cientistas têm investigado processos cognitivos associados a

<sup>1</sup>Marilda Spindola Chiaramonte, Universidade de Caxias do Sul, Departamento de Engenharia e Informática, Al. João Dal Sasso, 800, Bento Gonçalves, RS, Brasil, marilda.chiaramonte@gmail.com, mschiara@ucs.br

<sup>2</sup>Michel Carra, Universidade de Caxias do Sul, Departamento de Engenharia e Informática, Al. João Dal Sasso, 800, Bento Gonçalves, RS, Brasil, mcarra1@ucs.br

<sup>3</sup>Maria Isabel Timm, UFRGS, PPGIE-Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto Alegre, RS, Brasil, betatimm@ufrgs.br

<sup>4</sup>Milton Antonio Zaro, UFRGS, PPGIE-Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto Alegre, RS, Brasil, zaro@ufrgs.br

<sup>5</sup>Fernando Schnaid, UFRGS, PPGIE-Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto Alegre, RS, Brasil, fernando@ufrgs.br

diversas atividades enfocando, sobretudo questões relativas a diferentes culturas e gêneros. Sobre o aspecto da influência da cultura, como elemento diferencial no processo de aprendizagem, pesquisas indicam que ocorrem alterações estruturais no cérebro humano em função do aprendizado diferenciado [11]. Também referem a comprovação de diferentes modelos funcionais entre cérebros masculinos e femininos, compatíveis com padrões anatômicos distintos entre sexos [9] e ainda, que a idade deve ser considerada, quando o processo de aprendizagem for aplicado sobre conteúdos formais complexos e de ordem espacial [10]-[16]-[17].

As descobertas de padrões de organização e funcionamento do pensamento humano têm possibilitado a criação de novas hipóteses sobre o processo de aprendizagem que atingem os sistemas motores e cognitivos. Os diversos resultados apresentados por cientistas indicam que há diferenças, em alguns casos significativas, entre os processos de aprendizagem nos cérebros de homens e mulheres, crianças e adultos, ocidentais e orientais [6]. Isso nos leva a crer, em função também das observações empíricas na prática docente, que poderá haver diferenças nos processos de aprendizagem entre diferentes perfis cognitivos, nas diversas áreas do conhecimento, como por exemplo, entre estudantes que se identifiquem mais com áreas que envolvam aquisição de conhecimentos complexos, científicos e lógicos e estudantes que prefiram as áreas com ênfase em aspectos sociais. PINKER [15] descreve faculdades cognitivas e intuições inatas dos seres humanos, baseadas numa física, biologia, engenharia e psicologia intuitivas, um senso espacial, numérico e de probabilidades, além de uma economia intuitiva, uma lógica e um banco de dados mentais, bem como a linguagem, sendo que todos esses aspectos suportam as especializações mais avançadas da mente, de forma diversificada, quando o sujeito é submetido à aprendizagem formal. As idéias apresentadas por esse autor apóiam o desejo de neurocientistas, cientistas e pesquisadores da área da Educação, em investigar as diferenças dos processos cognitivos entre os diversos tipos de aprendizes. Tais idéias também são compatíveis com as chamadas inteligências múltiplas, propostas por Gardner [7]-[8].

Considerando que o desenvolvimento das habilidades cognitivas, como a manipulação espacial de objetos, a construção do raciocínio lógico e abstrato e todo o conhecimento complexo é dependente de pré-requisitos inatos, assim como da interação com o meio cultural, familiar, geográfico, etc. [15], torna-se necessário o entendimento sobre a aquisição do conhecimento nessas duas vias: inata e cultural. A possibilidade do conhecimento neurofisiológico do cérebro, de suas estruturas e do seu funcionamento, enquanto processa informações e aprende, permite formular novas hipóteses sobre o processo de aprender, que apóiam ou vão de encontro às teorias educacionais vigentes.

Os modelos epistemológicos disseminados através da pesquisa educacional em geral descrevem teoricamente os processos de aquisição de conhecimento e fornecem pistas sobre as ações pedagógicas que podem ser implementadas no processo interativo que ocorre entre o ensinar e o aprender. Conteúdos complexos, abstratos e lógico-espaciais requerem técnicas pedagógicas especializadas, mais precisamente aplicadas ao perfil do estudante dessa área, que por sua vez, possivelmente possua características distintas como aprendiz [22]. Diante das novas tecnologias e demandas mercadológicas, o estudante necessita estar apoiado por novas teorias e técnicas nos processos de ensinar e aprender que estejam fundamentadas em uma análise quantitativa e qualitativa sobre experimentos controlados que envolvam a cognição de temas complexos, abstratos e raciocínios lógico-espaciais, monitorados por equipamentos que permitam dimensionar os sinais cerebrais enquanto esses processos cognitivos ocorrem. TIMM [22], em tese de doutorado defendida no PPGIE, relacionada à descrição de um possível perfil cognitivo dos engenheiros, sugere que sejam feitos testes prévios com pré-vestibulandos, com o objetivo de identificar perfis adequados para alunos de Engenharia, mesmo que não tenham função eliminatória, mas como forma de ajudá-los a optar pelo curso tendo consciência de suas características e níveis de exigência específicos, como já ocorre com as áreas da música, educação física, psicologia e outras.

Os resultados publicados sobre as capacidades do cérebro em construir memórias de curto e longo prazo, formar modelos mentais distintos que dependem dos processos evolutivos, comportamentais (ontológicos) e culturais permite pensar sobre as diversidades humanas enquanto aprendizes. Estimando que o processo de aprendizagem possa atuar significativamente nos modelos mentais existentes nos cérebros humanos, procurou-se iniciar o questionamento da pesquisa pela tentativa de compreender como e em que amplitude ocorrem as atividades cognitivas específicas do aprendizado de engenharia. Tomados pela curiosidade científica e com o desejo de colaborar com a pesquisa educacional, o grupo de pesquisa formado no PPGIE-UFRGS (Programa de Pós-graduação em Informática na Educação), na Linha de Pesquisa "Paradigmas para o Ensino de Conteúdos Científicos e Tecnológicos", juntamente com a Engenharia Elétrica da UCS-CARVI, empenhou-se em desenvolver pesquisa experimental contemplando as questões relacionadas ao ensino de engenharia e buscando identificar um perfil cognitivo associado a esse estudante e, talvez, a possibilidade de explorar outras questões que dizem respeito ao profissional das áreas de engenharia, tais como:

- existem diferenças cognitivas (raciocínio lógico-espacial, abstração sobre complexidades) entre padrões cognitivos identificáveis eletricamente (através de EEG) de Engenheiros e Não-Engenheiros?

- existem diferenças no modelo de pensamento lógico-matemático-abstrato entre engenheiros e estudantes de engenharia? (adultos seniores x jovens)
- existem diferenças de pensamento lógico-matemático-abstrato entre alunos iniciantes no curso de engenharia e alunos formandos?
- existem diferenças cognitivas entre padrões cognitivos identificáveis eletricamente (através de EEG) de engenheiros femininos e masculinos ou estudantes de engenharia masculinos e femininos?

As questões propostas pelo grupo serão modeladas para ser testadas em experimentos orientados por grupos multidisciplinares envolvendo também pesquisadores da área da psicologia experimental e neurociências. A psicologia experimental e métrica, também conhecida como psicometria tem se desenvolvido cientificamente e os métodos empregados trazem a psicologia à luz da ciência quantitativa. A colaboração da psicologia cognitiva com as técnicas da psicometria na área da Educação já é presente em estudos realizados por Balbinotti [4], que utiliza a instrumentação e metodologia adequada à pesquisa focada na investigação de tendências vocacionais.

#### MODELAGEM DE PERFIL COGNITIVO

Pela via da neurociência, a pesquisa experimental educacional, em laboratórios, tem sido desenvolvida com técnicas que envolvem instrumentação com eletroencefalografia - EEG, com ressonância magnética, fMRI, entre outras [11]. Os sinais cerebrais adquiridos são modelados matematicamente com o objetivo de encontrar padrões de comportamento cognitivo quando o sujeito do experimento se encontra em processo de aprendizagem. No entanto, todo esse esforço é ainda muito incipiente na área da Educação. Embora muitos modelos teóricos sobre a aquisição do conhecimento tenham sido propostos, a validação dos mesmos depende de experimentos bem elaborados e que estejam afinados com o uso da tecnologia.

Também a área da Engenharia Biomédica tem-se desenvolvido e apoiado a Neurociência com a instrumentação médica necessária à realização de medidas quantitativas sobre o cérebro, ainda que muitas dificuldades sejam presentes, como as listadas abaixo, entre outras:

- formação de grupos para sujeitos da pesquisa;
- não possibilidade de instrumentação invasiva ao cérebro em sujeitos saudáveis;
- complexidade do processo de aquisição externa dos sinais cerebrais que apresentam níveis de tensão da ordem de microvolts, em frequências baixas e com ruídos significativo;
- equipamentos desenvolvidos pela indústria para a área da Neurologia são direcionados para a investigação da saúde e não para a pesquisa educacional, além de muitos equipamentos não utilizarem softwares com funções

aplicáveis a quantificações matemáticas ou com a possibilidade de caracterização de um modelo funcional do cérebro humano em processo de aprendizagem.

Em função dessas dificuldades e da necessidade e possibilidade de testar diferentes modelos matemáticos sobre os sinais coletados, os pesquisadores envolvidos (UFRGS e UCS) com o projeto de pesquisa institucionalizado no Laboratório do Curso de Engenharia Elétrica da UCS\_CARVI, optaram por desenvolver um eletroencefalograma (instrumento de aquisição de sinal cerebral de baixo custo que permite análise temporal dos sinais capturados), com tecnologia de aquisição de sinais cerebrais apoiada em plataformas de hardware pré-existentes [1]-[2], e software de digitalização e processamento dos sinais, baseado na plataforma LabView<sup>6</sup>. Também será modelado um processo de aquisição pela plataforma BCI2000 [3] com o objetivo de comparar resultados e validar a ferramenta de aquisição desenvolvida nesse projeto.

#### PROJETO DE PESQUISA DO EEG E METODOLOGIA APLICADA: EEG VIRTUAL PELO LABVIEW

Uma ferramenta bastante utilizada na pesquisa sobre o funcionamento das conexões neurais tem sido o eletroencefalograma (EEG), que é um registro visível da atividade gerada pelas células do cérebro (neurônios), depois de adequada amplificação e condicionamento. A possibilidade de quantificação pelo EEG ampliou consideravelmente as indicações e a acurácia da eletroencefalografia como instrumento de investigação funcional do cérebro [12].

O uso de computadores para processar sinais fisiológicos cerebrais abre um número infinito de possibilidades para se extrair informação útil. Os softwares desenvolvidos para essa finalidade têm possibilitado o tratamento dos sinais cerebrais coletados através de modelos matemáticos, porém ainda são precários em termos de qualificação de modelagens e de acesso muito restrito em função do valor de aquisição. Contudo, o desenvolvimento de softwares para o fim da análise qualitativa e quantitativa dos sinais cerebrais é possível usando ferramentas como LabView<sup>7</sup> que é um poderoso software de aquisição e de processamento de sinais e permite modelar diferentes técnicas matemáticas, além de simular outros componentes eletrônicos necessários a aquisição de sinais. Uma destas técnicas matemáticas é chamada de análise espectral. Esta técnica se baseia em um teorema matemático, desenvolvido

<sup>6</sup>LabView – Sistema de Aquisição de Dados

<sup>7</sup>O laboratório de Engenharia Elétrica da UCS dispõe de vários sistemas de aquisição e tratamento de dados Labview da National Instruments (em conjuntos de hardware e software) disponíveis para desenvolvimento de projetos.

no século passado pelo cientista francês Pierre Fourier, e consegue mostrar os componentes de frequência de uma onda cerebral, o que se faz necessário identificar no processamento do pensamento ou da aprendizagem. Uma técnica, mais avançada, chamada Transformada Wavelet, permite uma maior precisão numa faixa mais ampla de frequências do sinal discretizado. Ambos os modelos matemáticos serão implementados no sistema LabView para a avaliação dos dados coletados no experimento relativo a processos de aprendizagem de conteúdos complexos e raciocínio-espacial em diferentes perfis de aprendizes.

O desenvolvimento do equipamento EEG, pelos alunos do Curso de Engenharia Elétrica-UCS, é parte da pesquisa em desenvolvimento. O trabalho foi supervisionado pelos professores do curso, dentro de uma proposta pedagógica de aprendizagem por projetos, e o sistema foi utilizado e avaliado por neurologistas em procedimentos de rotina. Após validação do hardware e sistema de aquisição, novos experimentos estão sendo modelados, desde o tradicional paradigma oddball<sup>8</sup> até o experimento relacionado a pesquisa proposta, apoiado pela Psicometria, para a identificação de padrões cognitivos relacionados a raciocínio lógico. Esse experimento, em desenvolvimento, permitirá a avaliação dos sinais cerebrais dos engenheiros e a possível identificação de um padrão cognitivo de estudantes da área.

Com o desenvolvimento do projeto do EEG percebeu-se a necessidade de novos instrumentos de apoio a essa pesquisa e assim, equipamentos como medidores de campo elétrico e magnético também estão sendo construídos por alunos do Curso, além de uma gaiola de Faraday<sup>9</sup>, que abrigará os sujeitos do experimento, bem como o sistema de aquisição dos sinais cerebrais.

#### RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa que está sendo realizada pretende agregar valor à Educação das áreas científicas e tecnológicas, através de metodologia científica aplicada à questão educacional, com abordagem multidisciplinar, incluindo as Ciências Cognitivas, a Neurociência e a Psicometria, bem como o desenvolvimento de tecnologia para monitoramento de atividades experimentais nesta área, além da simples

problematização de métodos pedagógicos utilizados. Pretende ainda contribuir para as discussões existentes hoje sobre as condições cognitivas de aprendizes com perfis específicos de diferentes áreas de conhecimento, além de, como subproduto, dar suporte à área da saúde com resultados que possam gerar novas técnicas de abordagem para a avaliação neurológica.

Também deverá abordar o funcionamento cognitivo humano em geral, focalizando os processos de aprendizagem que envolvam conteúdos complexos e raciocínios lógico-espaciais em particular, como o dos aprendizes das áreas de Engenharia. Pretende-se fundamentar o desenvolvimento de um modelo matemático desse aprendizado, de forma a permitir a realização de simulações sobre resultados de diferentes métodos de acesso aos conteúdos, bem como explorar metodologias de base neurocientífica (eletroencefalografia, entre outras) e fundamentações teóricas das áreas de educação e cognição (Ciências Cognitivas e Psicometria), com o objetivo de orientar os experimentos e interpretar os resultados.

Os métodos experimentais elaborados pela linha da neurociência e da psicometria geram resultados com uma dimensão quantitativa, o que facilita a compreensão dos processos mentais, além de serem extremamente objetivos sobre o objeto de controle, o que é muito desejável quando se busca a construção de modelos mentais mais adequados a perfis cognitivos, como é o caso de aprendizes da área da engenharia.

Assim, conceber uma metodologia em pesquisa educacional que envolva áreas tecnológicas, neurocientíficas e da psicologia experimental possibilita a reflexão sobre as possibilidades desenvolver metodologia de pesquisa educacional com base em instrumentos da neurociência e da psicometria.

A trajetória metodológica está inserida no modelo científico, com uma abordagem quantitativa, que apoiará sobremaneira os resultados qualitativos inferidos a partir dos modelos matemáticos gerados. A investigação teórica e exploratória será caracterizada como "Estudo de Caso", pois possibilita a realização do estudo em profundidade, sem a preocupação com a generalização dos resultados [20], mas com a produção de informações que possam apontar para conclusões, mesmo que provisórias, a respeito da epistemologia e da cognição dos estudantes das áreas científicas e tecnológicas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Active Electrodes for modular EEG, disponível em <<<http://uazu.net/ee/ae.html>>> Acessado em 01/08/06.
- [2] Amplifiers for bioelectric events: a design with a minimal number of parts, disponível em <<<http://www.biosemi.com/publications/artikel7.htm>>> Acessado em 01/08/06.
- [3] BCI2000 - disponível em <<<http://www.bciresearch.org/index.html>>> acessado em 11/09/2006.

<sup>8</sup> Ao sujeito é apresentada uma seqüência de sinais (um padrão, na proporção de 80% de Xs e um não padrão, 20% de Os) de forma aleatória. Os sinais são expostos por um período de 100ms alternados por tempos sem estímulo de 1400ms. Este experimento já foi realizado por muitos pesquisadores e é um ótimo indicador para a validação do equipamento de EEG desenvolvido, pois é possível identificar claramente os componentes das ondas EEG que são os ERPs, sinais que ocorrem após a visualização de estímulos sensoriais.

<sup>9</sup> Esse sistema permitirá isolar o paciente/sujeito do experimento de qualquer fonte eletromagnética causadora de interferências. Com isso, os ensaios serão realizados em um ambiente isolado, sem interferências externas, e somente assim se poderá afirmar que os sinais capturados são os mais fidedignos possíveis.

- [4] Balbinotti, M. Projeto de Pesquisa: Construção e Análise das Qualidades Psicométricas de 3 Questionários Aplicáveis a Estudos de Psicologia e de Administração: Discutindo Motivações, Operações e Gestão Ambiental. Unisinos, 2003.
- [5] Behrens, M.A. Projetos de aprendizagem colaborativa num paradigma emergente. In: MORAN, J.M.; MASETTO, M.T.; BEHRENS, M.A. Novas tecnologias e mediação pedagógica. Campinas, SP: Papyrus, p. 67-132, 2000.
- [6] Devlin, Keith – The Math Gene, Weidenfeld & Nicolson, Great Britain, 2000
- [7] GARDNER, H. Estruturas da Mente: A Teoria das Inteligências Múltiplas. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.
- [8] GARDNER, H. Gardner, H. (1998). Inteligência : múltiplas perspectivas. Tradução Maria Adriana Verissimo Veronese. Porto Alegre: Artmed.
- [9] GROSMANN, M. e grupo. Age-related changes in working memory during sentence comprehension: an fMRI study . Department of Neurology, University of Pennsylvania, 2002. Acesso em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?CMD=search&DB=pubmed>
- [10] HARWANT, S.; O'BOYLE, G. and M. W. Sex Differences in Matching Circles and Arcs: A Preliminary EEG Investigation. Laterality: Asymmetries of Body, Brain, and Cognition -Volume 2, Number 1 / March 1, 1997. Acesso em: <http://www.ingentaconnect.com/content/psych/plat/1997/00000002/0000001/art00006>
- [11] HOUZEL, Suzana H-. O Cérebro Nosso de Cada Dia – descobertas da neurociência sobre a vida cotidiana. 3a edição, Vieira e Lent, Rio de Janeiro, 2002.
- [12] JOHN, E. R. The neurophysics of consciousness , Brain Research Reviews 39 (2002) 1–28. Acesso em: <http://www.nnead.ufrgs.br/cursos/claroline/document/document.php>
- [13] KUHNEN, U. T. Pensar à Oriental. – Viver Mente e Cérebro – dezembro de 2004.
- [14] LABVIEW – National Instruments – Virtual Instruments – Acesso em: <http://www.ni.com/>
- [15] PINKER, S. Tabula Rasa – a negação contemporânea da natureza humana. São Paulo, Companhia das Letras, 2002.
- [16] ROBERTS, J. E.; e BELL, M. A. Sex Differences on a Mental Rotation Task: Variations in Electroencephalogram Hemispheric Activation Between Children and College Students - - Department of Psychology, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2000.
- [17] ROBERTS, J. E.; e BELL, M. A. Two- and three-dimensional mental rotation tasks lead to different parietal laterality for men and women. Department of Psychology, Armstrong Atlantic State University, 2003.
- [18] SCHULTZ, Duane P.; Schultz, Sydney E. História da Psicologia Moderna. São Paulo, SP: Editora Cultrix, 1992.
- [19] SIOK, W. T. Cada língua uma sentença – Viver Mente e Cérebro – janeiro de 2005.
- [20] SLOCZINSKI, H. Formação de professores a distância e em serviço: aprendizagem na prática. Proposta de Tese (Doutorado em Informática na Educação). Datilo. Porto Alegre: PGIE-UFRGS, 2002.
- [21] STERNBERG, R.J. Psicologia Cognitiva. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.
- [22] TIMM, M.I., Elaboração de projetos como estratégia pedagógica para o ensino de Engenharia (curso à distância de projeto no modelo e-learning-by-doing), tese de doutorado. Orientador: Prof. Fernando Schnaid. Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

**ANEXO D – ARTIGO SUBMETIDO E APROVADO NO SIECI 2007**

4º Simposio Iberoamericano de Educación, Cibernética e Informática (SIECI 2007) - 6ª  
Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática (CISCI2007)

## Em Busca de um Padrão Cognitivo na Engenharia

Marilda S. CHIARAMONTE  
Departamento de Engenharia e Informática, UCS  
Bento Gonçalves, RS, Brasil

Michel CARRA  
Departamento de Engenharia e Informática, UCS  
Bento Gonçalves, RS, Brasil

Maria I. TIMM  
PPGIE-Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, UFRGS  
Porto Alegre, RS, Brasil

Milton A. ZARO  
PPGIE-Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, UFRGS  
Porto Alegre, RS, Brasil

Fernando SCHNAID  
PPGIE-Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, UFRGS  
Porto Alegre, RS, Brasil

**Resumo** - O artigo apresenta considerações sobre os processos de ensino e aprendizagem de engenheiros e suas reais necessidades de conhecimento para a adaptação natural ao mercado atual. Considerando que os estudantes devem envolver-se em processos cognitivos complexos e avançados durante o curso, supõe-se que tenham (apriori) e/ou desenvolvam um perfil específico da área. E a partir dessa premissa o grupo interdisciplinar UFRGS e UCS, apoiado pelas Neurociências, Engenharia e pela Psicometria, está desenvolvendo pesquisa, baseada na análise de sinais cerebrais, capturados por EEG (eletroencefalografia). O objetivo é verificar se há um perfil cognitivo de engenheiros, avaliar e propor novos métodos pedagógicos que possam auxiliar em processos de ensino e aprendizagem de conteúdos complexos.

**Palavras-chave** - Ensino de engenharia, eletroencefalografia, modelos pedagógicos para engenharia, perfil cognitivo.

**Abstracts** - *The article presents considerations about learning and teaching process of engineers and their real knowledge needs to meet current market necessities. Taking into consideration that students need to get involved in complex and advanced cognitive process during the course, it is expected that they have a previous capacity or develop this profile. Thinking about it, the interdisciplinary group formed by investigators of the UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) and UCS (Universidade de Caxias do Sul), supported by neuroscientists, engineers, and psychologists are developing a research with EEG analysis. The main*

*purpose is to verify the possibility of a cognitive engineer profile, evaluate and propose new pedagogical methods to help the teaching and learning process of complex and scientific subjects.*

**Index Terms** - *Engineering teaching and learning, electroencephalography, pedagogical methods, cognitive perfil.*

### CONTEXTUALIZAÇÃO

O mercado profissional contemporâneo é exigente quanto à qualificação dos profissionais egressos nas diversas áreas e no contexto profissional das áreas tecnológicas e das engenharias é ainda mais competitivo. O profissional da engenharia necessita reunir conhecimentos teóricos e práticos que fazem parte historicamente da formação dos engenheiros, moldados a partir das ciências e da matemática, além de novas competências e habilidades, como a comunicabilidade, a flexibilidade e a criatividade, que garantam sua atuação bem sucedida nesse mercado [22]. Para tanto, a escola deve proporcionar métodos didático-pedagógicos que sejam bem adaptados ao perfil desse novo estudante. Ao longo dos últimos anos, vários pesquisadores têm buscado compreender esse perfil cognitivo e profissional, para desenvolver os referidos métodos didático-pedagógicos com base sólida na compreensão das necessidades cognitivas que serão desenvolvidas na formação do novo engenheiro. Nesse artigo, se apresentará as Neurociências e a Psicometria como instrumentos possíveis para apoiar esta pesquisa pelo perfil profissional, apontando uma revisão das

ferramentas atuais utilizadas como suporte pedagógico, bem como das estratégias educacionais que estão apoiadas em epistemologias com abordagem ampla sobre a aquisição do conhecimento.

A investigação sobre o cérebro, na busca de respostas ao comportamento e ao pensamento humano, remonta ao final do século XIX, quando pesquisadores das áreas da psicologia, fisiologia e filosofia apoiavam-se nas teorias mecanicista, estruturalista, funcionalista, comportamentalista e psicanalítica, entre outras, para desenvolver esse entendimento [18]-[21]. O interesse por essa questão se propaga aos dias atuais, com destaque à abordagem multidisciplinar, envolvendo áreas do conhecimento tais como a Psicologia Cognitiva, Ciências Cognitivas, Linguística, Computação (Inteligência Artificial) e Neurociências, entre outras [15].

A área das Neurociências, agregada a tecnologias de ponta, tem sido responsável por descobertas significativas sobre o funcionamento do cérebro, incluindo os processos de interesse a área da Educação, ou seja, aqueles que respondem pela aprendizagem humana [11]. Muitos cientistas têm investigado processos cognitivos associados a diversas atividades enfocando, sobretudo questões relativas a diferentes culturas e gêneros. Sobre o aspecto da influência da cultura, como elemento diferencial no processo de aprendizagem, pesquisas indicam que ocorrem alterações estruturais no cérebro humano em função do aprendizado diferenciado [11]. Também referem a comprovação de diferentes modelos funcionais entre cérebros masculinos e femininos, compatíveis com padrões anatômicos distintos entre sexos [9] e ainda, que a idade deve ser considerada, quando o processo de aprendizagem for aplicado sobre conteúdos formais complexos e de ordem espacial [10]-[16]-[17].

As descobertas de diferentes padrões de organização e funcionamento do pensamento humano têm possibilitado a criação de novas hipóteses sobre o processo de aprendizagem que atingem os sistemas motores e cognitivos [6]. Isso nos leva a crer, em função também das observações empíricas na prática docente, que poderá haver diferenças nos processos de aprendizagem entre diferentes perfis cognitivos, nas diversas áreas do conhecimento, como por exemplo, entre estudantes que se identifiquem mais com áreas que envolvam aquisição de conhecimentos complexos, científicos e lógicos e estudantes que prefiram as áreas com ênfase em aspectos sociais. PINKER [15] descreve faculdades cognitivas e intuições inatas dos seres humanos, baseadas numa física, biologia, engenharia e psicologia intuitivas, um senso espacial, numérico e de probabilidades, além de uma economia intuitiva, uma lógica e um banco de dados mentais, bem como a linguagem, sendo que todos esses aspectos suportam as especializações mais avançadas da mente, de forma diversificada, quando o sujeito é submetido à aprendizagem formal. As idéias apresentadas por esse autor apóiam o desejo de neurocientistas,

cientistas e pesquisadores da área da Educação, em investigar as diferenças dos processos cognitivos entre os diversos tipos de aprendizes. Tais idéias também são compatíveis com as chamadas inteligências múltiplas, propostas por Gardner [7]-[8].

Considerando que o desenvolvimento das habilidades cognitivas, como a manipulação espacial de objetos, a construção do raciocínio lógico e abstrato e todo o conhecimento complexo é dependente de pré-requisitos inatos, assim como da interação com o meio cultural, familiar, geográfico, etc. [15], torna-se necessário o entendimento sobre a aquisição do conhecimento nessas duas vias: inata e cultural. A possibilidade do conhecimento neurofisiológico do cérebro, de suas estruturas e do seu funcionamento, enquanto processa informações e aprende, permite formular novas hipóteses sobre o processo de aprender, que apóiam ou vão de encontro às teorias educacionais vigentes.

Os modelos epistemológicos disseminados através da pesquisa educacional em geral descrevem teoricamente os processos de aquisição de conhecimento e fornecem pistas sobre as ações pedagógicas que podem ser implementadas no processo interativo que ocorre entre o ensinar e o aprender. Conteúdos complexos, abstratos e lógico-espaciais requerem técnicas pedagógicas especializadas, mais precisamente aplicadas ao perfil do estudante dessa área, que por sua vez, possivelmente possua características distintas como aprendiz [22]. Diante das novas tecnologias e demandas mercadológicas, o estudante necessita estar apoiado por novas teorias e técnicas nos processos de ensinar e aprender. Estas devem estar fundamentadas em uma análise quantitativa e qualitativa sobre experimentos controlados que envolvam a cognição de temas complexos, abstratos e raciocínios lógico-espaciais, monitorados por equipamentos que permitam dimensionar os sinais cerebrais enquanto esses processos cognitivos ocorrem. TIMM [22], em tese de doutorado defendida no PPGIE, relacionada à descrição de um possível perfil cognitivo dos engenheiros, sugere que sejam feitos testes prévios com pré-vestibulandos, com o objetivo de identificar perfis adequados para alunos de Engenharia. Mesmo que não tenham função eliminatória, estes testes poderão constituir uma forma de ajudá-los a optar pelo curso tendo consciência de suas características e níveis de exigência específicos, como já ocorre com as áreas da música, educação física, psicologia e outras.

Os resultados publicados sobre as capacidades do cérebro em construir memórias de curto e longo prazo, formar modelos mentais distintos que dependem dos processos evolutivos, comportamentais (ontológicos) e culturais permite pensar sobre as diversidades humanas enquanto aprendizes. Estimando que o processo de aprendizagem possa atuar significativamente nos modelos mentais existentes nos cérebros humanos, procurou-se iniciar o questionamento da pesquisa pela tentativa de compreender como e em que amplitude ocorrem as

atividades cognitivas específicas do aprendizado de engenharia. Tomados pela curiosidade científica e com o desejo de colaborar com a pesquisa educacional, o grupo formado no PPGIE-UFRGS (Programa de Pós-graduação em Informática na Educação), na Linha de Pesquisa “Paradigmas para o Ensino de Conteúdos Científicos e Tecnológicos”, juntamente com a Engenharia Elétrica da UCS-CARVI, está empenhado em desenvolver pesquisa experimental contemplando as questões relacionadas ao ensino de engenharia. Tem buscado identificar um perfil cognitivo associado a esse estudante e, talvez, explorar outras questões que dizem respeito ao profissional das áreas de engenharia, tais como:

- possíveis diferenças cognitivas (raciocínio lógico-espacial, abstração sobre complexidades) entre padrões cognitivos identificáveis eletricamente (através de EEG) de Engenheiros e Não-Engenheiros;
- possíveis diferenças no modelo de pensamento lógico-matemático-abstrato entre engenheiros e estudantes de engenharia; (adultos seniores x jovens)
- possíveis diferenças de pensamento lógico-matemático-abstrato entre alunos iniciantes no curso de engenharia e alunos formandos;
- possíveis diferenças cognitivas entre padrões cognitivos identificáveis eletricamente (através de EEG) de engenheiros femininos e masculinos ou estudantes de engenharia masculinos e femininos.

As questões propostas pelo grupo serão modeladas para ser testadas em experimentos orientados por grupos multidisciplinares envolvendo também pesquisadores da área da Psicologia experimental e Neurociências. A psicologia experimental e métrica, também conhecida como Psicometria tem se desenvolvido cientificamente e os métodos empregados trazem a psicologia à luz da ciência quantitativa. A colaboração da Psicologia Cognitiva com as técnicas da Psicometria na área da Educação já é presente em estudos realizados por Balbinotti [4], que utiliza a instrumentação e metodologia adequada à pesquisa focada na investigação de tendências vocacionais.

#### MODELAGEM DE PERFIL COGNITIVO

Pela via das Neurociências, a pesquisa experimental educacional, em laboratórios, tem sido desenvolvida com técnicas que envolvem instrumentação com eletroencefalografia - EEG, com ressonância magnética, fmRI, entre outras [11]. Os sinais cerebrais adquiridos são modelados matematicamente com o objetivo de encontrar padrões de comportamento cognitivo quando o sujeito do experimento se encontra em processo de aprendizagem. No entanto, todo esse esforço é ainda muito incipiente na área da Educação. Embora muitos

modelos teóricos sobre a aquisição do conhecimento tenham sido propostos, a validação dos mesmos depende de experimentos bem elaborados e que estejam afinados com o uso da tecnologia.

Também a área da Engenharia Biomédica tem-se desenvolvido e apoiado as Neurociências com a instrumentação médica necessária à realização de medidas quantitativas sobre o cérebro, ainda que muitas dificuldades sejam presentes, como as listadas abaixo, entre outras:

- formação de grupos para sujeitos da pesquisa;
- não possibilidade de instrumentação invasiva ao cérebro em sujeitos sadios;
- complexidade do processo de aquisição externa dos sinais cerebrais que apresentam níveis de tensão da ordem de *microvolts*, em frequências baixas e com ruídos significativo;
- equipamentos desenvolvidos pela indústria para a área da Neurologia são direcionados para a investigação da saúde e não para a pesquisa educacional, além de muitos equipamentos não utilizarem softwares com funções aplicáveis a quantificações matemáticas ou com a possibilidade de caracterização de um modelo funcional do cérebro humano em processo de aprendizagem.

Em função dessas dificuldades e da necessidade e possibilidade de testar diferentes modelos matemáticos sobre os sinais coletados, os pesquisadores envolvidos (UFRGS e UCS) com o projeto de pesquisa institucionalizado no Laboratório do Curso de Engenharia Elétrica da UCS\_CARVI, optaram por desenvolver um eletroencefalograma (instrumento de aquisição de sinal cerebral de baixo custo que permite análise temporal dos sinais capturados), com tecnologia de aquisição de sinais cerebrais apoiada em plataformas de hardware pré-existentes [1]-[2], e software de digitalização e processamento dos sinais, baseado na plataforma LabView<sup>1</sup>. Também será modelado um processo de aquisição pela plataforma BCI2000 [3] com o objetivo de comparar resultados e validar a ferramenta de aquisição desenvolvida nesse projeto.

#### PROJETO DE PESQUISA DO EEG E METODOLOGIA APLICADA: EEG PELO LABVIEW

Uma ferramenta bastante utilizada na pesquisa sobre o funcionamento das conexões neurais tem sido o eletroencefalograma (EEG), que é um registro temporal da atividade gerada pelas células do cérebro (neurônios), depois de adequada amplificação e condicionamento[12]. O processamento e a modelagem matemática dos sinais fisiológicos cerebrais abrem um número grande de

<sup>1</sup>LabView – Sistema de Aquisição de Dados National

possibilidades para se extrair informação útil. Os softwares desenvolvidos para essa finalidade têm possibilitado o tratamento dos sinais cerebrais coletados através de modelos matemáticos, porém ainda são precários em termos de qualificação de modelagens e de acesso muito restrito em função do valor de aquisição. Contudo, o desenvolvimento de softwares para o fim da análise qualitativa e quantitativa dos sinais cerebrais é possível usando ferramentas como LabView<sup>2</sup> que é um software de aquisição e de processamento de sinais e permite modelar diferentes técnicas matemáticas, além de simular outros componentes eletrônicos necessários a aquisição de sinais. Uma destas técnicas matemáticas é chamada Transformada Wavelet. Este modelo permite mostrar os componentes de frequência com precisão numa faixa mais ampla de frequências do sinal discretizado de uma onda cerebral. Os resultados podem identificar, quantitativamente, processos do pensamento ou da aprendizagem, incluindo raciocínio lógico-espacial e modelagens de pensamento complexo, em diferentes perfis de aprendizes.

O desenvolvimento do equipamento EEG, pelos alunos do Curso de Engenharia Elétrica-UCS, é parte da pesquisa em desenvolvimento, numa proposta pedagógica de aprendizagem por projetos, e o sistema foi utilizado e avaliado por neurologistas em procedimentos de rotina. Após validação qualitativa da aquisição de ondas alfa, beta, etc, optou-se por reproduzir o clássico experimento do “paradigma *oddball*”<sup>3</sup>, onde se podem identificar padrões de sinais conhecidos como ERP (Potencial Relacionado a Evento). Valendo-se dos mesmos procedimentos já publicados por vários outros grupos de estudo nessa área, alguns experimentos *oddball* foram realizados, obtendo a mesma condição de resposta, ou seja, os mesmos resultados de outros grupos de pesquisa. A modelagem matemática aplicada foi um simples cálculo de média, não correspondendo ao ideal de modelagem.

Atualmente, o grupo está realizando ensaios para a captura de sinal e formação de uma base de dados de sinais bioelétricos, como etapa de apropriação de conhecimento sobre uso e captura de sinais com EEG, para após adentrar no experimento relacionado a pesquisa proposta, apoiado pela Psicometria, para a identificação de padrões cognitivos relacionados a raciocínio lógico. Esse experimento permitirá a avaliação dos sinais cerebrais dos engenheiros e a possível

identificação de um padrão cognitivo de estudantes da área.

Com o desenvolvimento do projeto do EEG percebeu-se a necessidade de novos instrumentos de apoio a essa pesquisa. Assim, equipamentos como medidores de campo elétrico e magnético também estão sendo construídos por alunos do Curso, além de uma gaiola de Faraday<sup>4</sup>, que abrigará os sujeitos do experimento, bem como o sistema de aquisição dos sinais cerebrais.

#### RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa em andamento pretende agregar valor à Educação nas áreas científicas e tecnológicas, com metodologia científica aplicada à questão educacional, em abordagem multidisciplinar, incluindo as Ciências Cognitivas, as Neurociências e a Psicometria, bem como o desenvolvimento de tecnologia para monitoramento de atividades experimentais nesta área, além da simples problematização de métodos pedagógicos utilizados. Pretende ainda contribuir para as discussões existentes hoje sobre as condições cognitivas de aprendizes com perfis específicos de diferentes áreas de conhecimento, além de, como subproduto, dar suporte à área da saúde com resultados que possam gerar novas técnicas de abordagem para a avaliação neurológica.

Também deverá abordar o funcionamento cognitivo humano em geral, focalizando os processos de aprendizagem que envolvam conteúdos complexos e raciocínios lógico-espaciais em particular, como o dos aprendizes das áreas de Engenharia. Pretende-se fundamentar o desenvolvimento de um modelo matemático desse aprendizado, de forma a permitir a realização de simulações sobre resultados de diferentes métodos de acesso aos conteúdos. E ainda, explorar metodologias de base neurocientífica (eletroencefalografia, entre outras) e fundamentações teóricas das áreas de educação e cognição (Ciências Cognitivas e Psicometria), com o objetivo de orientar os experimentos e interpretar os resultados.

Os métodos experimentais elaborados pela linha das Neurociências e da Psicometria geram resultados com uma dimensão quantitativa, o que facilita a compreensão dos processos mentais. Estes indicadores são extremamente objetivos sobre o objeto de controle, o que é muito desejável quando se busca a construção de modelos mentais mais adequados a perfis cognitivos, como é o caso de aprendizes da área da engenharia.

Assim, conceber uma metodologia em pesquisa educacional que envolva áreas tecnológicas, neurocientíficas e da psicologia experimental possibilita a reflexão sobre as possibilidades de desenvolver

<sup>2</sup>O laboratório de Engenharia Elétrica da UCS dispõe de vários sistemas de aquisição e tratamento de dados Labview da National Instruments (em conjuntos de hardware e software) disponíveis para desenvolvimento de projetos.

<sup>3</sup>Ao sujeito é apresentada uma sequência de sinais (um padrão, na proporção de 80% de Xs e um não padrão, 20% de Os) de forma aleatória. Os sinais são expostos por um período de 100ms alternados por tempos sem estímulo de 1400ms. Este experimento já foi realizado por muitos pesquisadores e é um ótimo indicador para a validação do equipamento de EEG desenvolvido, pois é possível identificar claramente os componentes das ondas EEG que são os ERPs, sinais que ocorrem após a visualização de estímulos sensoriais.

<sup>4</sup> Esse sistema permitirá isolar o paciente/sujeito do experimento de qualquer fonte eletromagnética causadora de interferências. Com isso, os ensaios serão realizados em um ambiente isolado, sem interferências externas, e somente assim se poderá afirmar que os sinais capturados são os mais fidedignos possíveis.

metodologia de pesquisa educacional com base em instrumentos das Neurociências e da Psicometria. A trajetória metodológica está inserida no modelo científico, com uma abordagem quantitativa, que apoiará sobremaneira os resultados qualitativos inferidos a partir dos modelos matemáticos gerados. A investigação teórica e exploratória será caracterizada como "Estudo de Caso", pois possibilita a realização do estudo em profundidade, sem a preocupação com a generalização dos resultados [20], mas com a produção de informações que possam apontar para conclusões, mesmo que provisórias, a respeito da epistemologia e da cognição dos estudantes das áreas científicas e tecnológicas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Active Electrodes for modular EEG, disponível em <<<http://uazi.net/eeg/ae.html>>> Acessado em 01/08/06.
- [2] Amplifiers for bioelectric events: a design with a minimal number of parts, disponível em <<<http://www.biosemi.com/publications/artikel7.htm>>> Acessado em 01/08/06.
- [3] BCI2000 - disponível em <<<http://www.bciresearch.org/index.html>>> acessado em 11/09/2006.
- [4] Balbinotti, M. Projeto de Pesquisa: Construção e Análise das Qualidades Psicométricas de 3 Questionários Aplicáveis a Estudos de Psicologia e de Administração: Discutindo Motivações, Operações e Gestão Ambiental. Umsinos, 2003.
- [5] Behrens, M.A. Projetos de aprendizagem colaborativa num paradigma emergente. In: MORAN, J.M.; MASETTO, M.T.; BEHRENS, M.A. Novas tecnologias e mediação pedagógica. Campinas, SP: Papirus, p. 67-132, 2000.
- [6] Devlin, Keith – The Math Gene, Weidenfeld & Nicolson, Great Britain, 2000
- [7] GARDNER, H. Estruturas da Mente: A Teoria das Inteligências Múltiplas. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.
- [8] GARDNER, H. Gardner, H. (1998). Inteligência : múltiplas perspectivas. Tradução Maria Adriana Verissimo Veronese. Porto Alegre: Artmed.
- [9] GROSMANN, M. e grupo. Age-related changes in working memory during sentence comprehension: an fMRI study. Department of Neurology, University of Pennsylvania, 2002. Acesso em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?CMD=search&DB=pubmed>
- [10] HARWANT, S.; O'BOYLE, G. and M. W. Sex Differences in Matching Circles and Arcs: A Preliminary EEG Investigation. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain, and Cognition - Volume 2, Number 1 / March 1, 1997*. Acesso em: <http://www.ingentaconnect.com/content/psych/plat/1997/0000002/00000001/art00006>
- [11] HOUZEL, Suzana H-. O Cérebro Nosso de Cada Dia – descobertas da neurociência sobre a vida cotidiana. 3a edição, Vieira e Lent, Rio de Janeiro, 2002.
- [12] JOHN, E. R. The neurophysics of consciousness, Brain Research Reviews 39 (2002) 1–28. Acesso em: <http://www.nmead.ufrgs.br/cursos/claroline/document/document.php>
- [13] KUHNEN, U. T. Pensar à Oriental. – Viver Mente e Cérebro – dezembro de 2004.
- [14] LABVIEW – National Instruments – Virtual Instruments – Acesso em: <http://www.ni.com/>
- [15] PINKER, S. Tabula Rasa – a negação contemporânea da natureza humana. São Paulo, Companhia das Letras, 2002.
- [16] ROBERTS, J. E.; e BELL, M. A. Sex Differences on a Mental Rotation Task: Variations in Electroencephalogram Hemispheric Activation Between Children and College Students - - Department of Psychology, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2000.
- [17] ROBERTS, J. E.; e BELL, M. A. Two- and three-dimensional mental rotation tasks lead to different parietal laterality for men and women. Department of Psychology, Armstrong Atlantic State University, 2003.
- [18] SCHULTZ, Duane P.; Schultz, Sydney E. História da Psicologia Moderna. São Paulo, SP: Editora Cultrix, 1992.
- [19] SIOK, W. T. Cada língua uma sentença – Viver Mente e Cérebro – janeiro de 2005.
- [20] SLOCZINSKI, H. Formação de professores a distância e em serviço: aprendizagem na prática. Proposta de Tese (Doutorado em Informática na Educação). Datilo. Porto Alegre: PGIE-UFRGS, 2002.
- [21] STERNBERG, R.J. Psicologia Cognitiva. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.
- [22] TIMM, M.I. Elaboração de projetos como estratégia pedagógica para o ensino de Engenharia (curso à distância de projeto no modelo e-learning-by-doing), tese de doutorado. Orientador: Prof. Fernando Schnaid, Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

**ANEXO E – ARTIGO SUBMETIDO E APROVADO NO INTERTECH 2008**  
INTERTECH'2008 – International Conference on Engineering and Technology Education -  
Peruíbe, Brazil, March 02 - 05, 2008

## ERP COMO TÉCNICA DE INVESTIGAÇÃO SOBRE PADRÕES COGNITIVOS EVOCADOS COM ESTÍMULOS VISUAIS 2D E 3D

Marilda Chiamonte<sup>1</sup>, Alexandre Balbinot<sup>2</sup>, Giovani Carra<sup>3</sup>, Milton Zaro<sup>4</sup>

**Abstract** — *Event Related Potential is a basic and non-invasive method of electrophysiological investigation. It can be used to assess aspects of human cognitive processing such as visual pathway. This paper focused on ERP technique to discover signal cerebral pathway related to an external visual stimulus. In that experiment we used 2D and 3D visual stimulus in the same picture. The signals were captured using 4 channel EEG system developed for this project and interfaced in a ADC board with LabVIEW system - National Instruments. The signals were math treatment and statistical techniques showing the relationship between cognitive pathway by groups and intergroups.*

**Index Terms** — *EEG, cognitive visual pathway, biologic signal, mathematical model.*

### INTRODUÇÃO

Nos últimos anos muitas investigações sobre padrões cognitivos humanos manifestos através dos sinais elétricos cerebrais têm sido realizadas através da técnica de ERP - Potencial Relacionado a Evento. O ERP é um método encefalográfico não invasivo que permite medidas eletrofisiológicas de amplitude de sinal de 2 a 20  $\mu\text{V}$  em faixas de frequência de até 100Hz (sinal de interesse) [7].

O método anteriormente citado, juntamente com outras técnicas de investigação por imagem, tem permitido um maior entendimento, com aporte científico, sobre o funcionamento do comportamento humano, desde questões relativas a linguagem, memória, percepção até a movimentação motora [8]. Entre as áreas de interesse sobre o reconhecimento de padrões cognitivos estão a Educação e a Instrumentação Biomecânica. Os processos educacionais mais recentes têm envolvido resultados de pesquisas que indicam os diferentes tipos de perfis de aprendizes e as diferentes motivações que os delimitam [1]. Conhecer o funcionamento cognitivo de aprendizes relativos a aspectos de atenção e interesses deverá permitir uma melhoria significativa na inter-relação sujeito-objeto de aprendizagem. Também a área da saúde suportada pela instrumentação biomecânica tem por objetivo facilitar o acesso e disseminação ao conhecimento e caracterização de

movimentos para o controle de próteses ativas, cujo controle pode ser aperfeiçoado com a correlação entre sinais cerebrais e motores.

No processo cognitivo o aspecto atenção está sempre relacionado a uma função mental. Mesmo nas tarefas mais simples realizadas no dia a dia, estamos sempre buscando um foco de atenção ou alternando entre alguns poucos focos [3]-[4]. Assim, a investigação sobre aspectos de atenção, uma das possíveis observações através dos sinais ERPs, poderá resultar em indicadores que irão auxiliar em novos projetos educacionais e de saúde aplicada.

Neste artigo estão descritos experimentos que envolvem a investigação sobre atenção e padrões visuais usando a técnica de ERP com estímulos visuais simples: objeto apresentado em formato 2D e 3D. O objetivo é verificar se imagens 2D e 3D de um mesmo objeto despertam diferentes esforços em termos de sinais elétricos em um mesmo sujeito e entre sujeitos. O esforço será identificado pela ocorrência de diferentes frequências e níveis de magnitude entre os sinais (alocação de recursos). Os sinais foram coletados por um equipamento EEG de 4 canais (eletroencefalógrafo) desenvolvido no laboratório de Biosinais [2].

### MATERIAIS E MÉTODOS

A investigação sobre o processo de atenção durante a percepção de diferentes padrões visuais foi realizada como um projeto de experimentos piloto utilizando:

- **sujeitos:** participaram deste experimento dois estudantes do curso de engenharia elétrica com idades de 20 e 30 anos, ambos do sexo masculino e com sistema normal de visão, aqui denominados A1 e A2;
- **projeto do experimento:** os sujeitos foram convidados a participar e estiveram de acordo com todos os procedimentos durante o experimento. Eles ficaram sentados confortavelmente em uma cadeira, posicionada dentro de uma cabine, totalmente isolada do meio externo e em ambiente escuro, com somente visão da tela do monitor que estava a 90 cm do sujeito e na qual era possível ver os estímulos;
- **tipos de estímulos:** os estímulos apresentados foram duas imagens: formato bola, em duas e três dimensões

1 Marilda Chiamonte, Profa Msc. Eng. Elétrica – Laboratório de Biosinais e Laboratório de Instrumentação Biomecânica - UCS, Alameda João Dal Sasso 800, Prédio D. 95700-000, Bento Gonçalves, RS, Brazil. marilda.chiamonte@gmail.com

2 Alexandre Balbinot, Prof Dr. Eng. Elétrica UCS - Laboratório de Biosinais e Laboratório de Instrumentação Biomecânica - UCS, Alameda João Dal Sasso 800, Prédio D. 95700-000, Bento Gonçalves, RS, Brazil. abalbinot@gmail.com

3 Giovani Carra, Estudante de Eng. Elétrica UCS, Alameda João Dal Sasso 800, Prédio D. 95700-000, Bento Gonçalves, RS, Brazil. gcarra4@ucs.br

4 Milton Zaro, Prof. Dr. Programa Pós-graduação em Informática na Educação UFRGS e Coordenador do Laboratório de Biomecânica IBTeC. zaro@ibtec.com.br

(2D e 3D), com a mesma cor e a mesma ocupação de área na tela do monitor, como mostra a figura 1. Todas as imagens foram projetadas pelo sistema LabVIEW [6] (*software e hardware* da National Instruments), também utilizado no processo de conversão analógico-digital do sinal capturado;



FIGURA. 1

FORMA DOS OBJETOS APRESENTADOS COMO ESTÍMULO NOS EXPERIMENTOS

- **procedimentos:** para os experimentos, os estímulos foram organizados em duas seqüências distintas com cinco imagens iguais (cada uma das seqüências continha apenas um tipo de imagem: 2D ou 3D). Os estímulos foram programados para aparecer durante 100ms com intervalos de 1300ms. A execução dos experimentos foi organizada a partir de sorteio aleatório (duplo cego) de sujeito e seqüência a ser executada. Cada sujeito participou duas vezes de cada experimento (sujeitos a dois níveis A1 e A2 em dois tipos de experimentos (2D e 3D) a dois níveis). Aos sujeitos participantes foram mostradas as imagens que serviram como estímulos antes de iniciado o experimento com o objetivo de diminuir a ansiedade no processo de visualização e gerar menos impacto como elemento surpresa.

#### AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DO SINAL

Durante cada experimento, os estudantes utilizaram uma touca padrão com eletrodos, com impedância menor que  $3k\Omega$ , dispostos no sistema internacional 10-20. A posição auricular foi utilizada como referência. Nos sinais capturados, em cada ponto medido no escalpo, foi utilizado filtro passa-alta de 0,01Hz e amplificadores com ganho total de 10000 vezes. Após o tratamento dos sinais no sistema analógico, os mesmos foram adquiridos digitalmente através do sistema LabVIEW, com taxa de aquisição de 1000 amostras/s. Os sinais digitalizados foram filtrados usando filtro passa-baixa com freqüência de corte em 55Hz.

Uma análise prévia dos sinais digitalizados por tratamento matemático com a Transformada Rápida de Fourier (FFT), e pelos estudos anteriores em experimentos realizados por outros pesquisadores [5]-[7], decidiu-se pelo tratamento dos sinais com maior energia de sinal latente, considerando-se então os canais relativos aos pontos Pz, P3 e P4. A figura 2 mostra os pontos para a posição dos eletrodos no sistema 10-20 e salienta os pontos utilizados nestes experimentos.

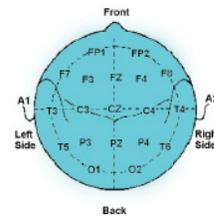


FIGURA. 2

POSICIONAMENTO DOS ELETRODOS NO SISTEMA 10-20

Para o tratamento matemático dos sinais adquiridos e escolhidos, cada um dos sinais de cada experimento (2D, 3D) de cada sujeito A1, A2, em cada ponto Pz, P3 e P4 foi seccionado em janelas de tempo de 200 ms (definidas por células para o tratamento de dados). As janelas (células) correspondem ao intervalo entre 200 ms e 400 ms após a apresentação do estímulo (a janela escolhida foi determinada em função da ocorrência dos sinais ERPs significativos para a atenção em 200 ms e 300 ms, denominados de P200 e P300).

O tratamento matemático aplicado em cada janela de tempo foi a Transformada Rápida de Fourier (FFT). Os resultados obtidos nesta primeira etapa de processamento permitiram a verificação dos pontos de maior magnitude do sinal em relação à freqüência. As freqüências que apresentaram a maior magnitude, no intervalo, foram escolhidas para a avaliação matemática e estatística.

As considerações matemáticas apresentadas na Tabela I, sobre os sinais presentes nas janelas de tempo (freqüência), estão baseadas nas técnicas de projetos de experimentos. Para este projeto foi selecionada a técnica Fatorial Completo com os seguintes três fatores controláveis:

- sujeitos a dois níveis (fator de controle A);
- experimentos a dois níveis: 2D/3D (fator de controle B);
- pontos de aquisição: Pz, P3 e P4 a três níveis (fator de controle C).

TABELA I

SIGNIFICÂNCIA ENTRE OS FATORES DE CONTROLE DOS EXPERIMENTOS

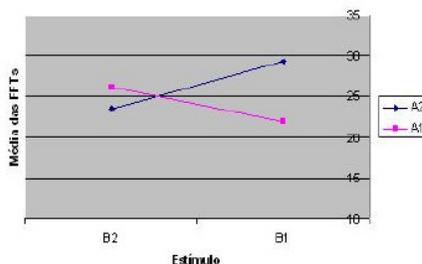
Fonte de Variação	Média Quadrática	Significativo?
Fator Controlável A	172,32	NÃO SIGNIFICATIVO
Fator Controlável B	19,20	NÃO SIGNIFICATIVO
Fator Controlável C	5,51	NÃO SIGNIFICATIVO
Interação AB	746,01	SIGNIFICATIVO
Interação AC	24,74	NÃO SIGNIFICATIVO
Interação BC	80,01	NÃO SIGNIFICATIVO
Interação ABC	13,84	NÃO SIGNIFICATIVO

Os dados foram manipulados estatisticamente com um grau de certeza de 95%.

Os fatores de controle foram correlacionados entre si, entre fatores e de forma global. Os resultados mostram que a correlação dos fatores de controle entre si não apresenta significância, ou seja, não há diferença significativa, para este ensaio, entre os padrões de sinais de um mesmo sujeito (A1 x A2) sobre as várias aquisições feitas, sejam de estímulos 2D ou 3D. Da mesma maneira, não há diferença significativa a ser ressaltada entre os pontos de aquisição no escalpo (C1 x C2 x C3). Os sinais obtidos em cada ponto, referentes ao experimento 2D ou 3D (B1 x B2) mantêm-se não significativos, indicando que não há diferenças em frequências ou magnitudes que variem acima do estimado estatisticamente.

No procedimento de cruzamento entre os fatores controláveis, foram realizadas relações entre os sujeitos e os tipos de estímulos (A x B), entre os sujeitos e os pontos de captura no escalpo (A x C), entre os tipos de estímulos e os pontos de captura no escalpo (B x C) e uma correlação geral entre as três variáveis de controle (A x B x C). A resultante significativa nestes procedimentos ocorreu somente quando foram comparados os sujeitos entre si e os tipos de estímulos visuais. Os resultados para esta significância apontam uma diferença no grau de recursos alocados e variação significativa na faixa de frequência para cada sujeito em relação a cada tipo de estímulo. O gráfico 1 mostra a diferença entre o sujeito A1 e o sujeito A2 no reconhecimento de padrões 2D e 3D. A média das FFTs de maior magnitude para o reconhecimento do padrão visual 2D (fator de controle B1), para o sujeito A1, concentra-se em torno de 21,92 Hz, enquanto que para o sujeito A2, esta mesma referência está no ponto de 29,34 Hz. Para o estímulo 3D (B2), as médias de FFTs de maior magnitude em cada janela, ficam, respectivamente, para os sujeitos A1 e A2 em 26,15 Hz e 23,52 Hz.

GRÁFICO 1  
DIFERENÇA ENTRE SUJEITOS E ESTÍMULOS VISUAIS



As demais correlações não apresentam significância. As variações em frequência e magnitude medidas nestes experimentos não apontam para alguma indicação de singularidade cognitiva neste grupo, exceto quando se

compara individualmente os sujeitos e seus esforços para reconhecimento de padrões.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sinais ERP evocados em P200 e P300 estão correlacionados a presença do processo cognitivo da atenção [7]. Também a análise dos sinais EEG, segundo referência [9] apresenta a faixa de frequência compreendida entre os valores de 14Hz a 39Hz como frequência BETA, que está associada a vigília ativa, ou seja, sinaliza córtex ativo e intenso estado de atenção.

A concordância entre as faixas de frequências obtidas no janelamento de tempo especificado para a avaliação dos ERPs dos dois sujeitos e a base determinada como faixa Beta (14 a 39Hz) aponta para a presença das frequências que envolvem atenção durante a ocorrência dos ERPs neste experimento. Este achado confirma as citações de outros autores [5]-[7] sobre a vinculação dos sinais P200 e P300 com a atenção sobre o estímulo visual.

Relativo à questão de investigação sobre a demanda e alocação de recursos, em termos de sinais elétricos, para a identificação de diferentes estímulos (2D e 3D de um mesmo objeto) em um mesmo sujeito e entre sujeitos, os resultados apontam significativamente para a diferença de esforço cognitivo entre os sujeitos quando submetidos ao mesmo estímulo visual. Decorre então que o processo de atenção dos sujeitos do experimento, focado na visualização de objetos com diferentes padrões, se dá de maneira distinta para este grupo.

## REFERÊNCIAS

- [1] Chiaromonte, Marilda; Carra, Michel; Timm, Maria Isabel; Zaro, Milton Antonio; Schnaid, Fernando. (2007). Em busca de um padrão cognitivo na engenharia In: ICECE 2007 Conferência Internacional em Educação em Engenharia e Computação, 2007, Monguaguá e Santos. Anais do ICECE 2007 - Homepage: <http://www.copec.org.br/icece2007/port/index.htm>
- [2] Carra, Michel ; Chiaromonte, Marilda; Balbinot, Alexandre . Desenvolvimento de um protótipo EEG como ferramenta para caracterização de sinais cerebrais em atividades relacionadas a raciocínio lógico. In: II Encontro Nacional de Biomecânica, 2007, Évora. Actas do II Encontro Nacional de Biomecânica 2007. Lisboa - Portugal : IST Press, 2007. v. I. p. 387-392.
- [3] Damásio, Antonio. O Erro de Descartes - Emoção, razão e o cérebro humano. Companhia das Letras. SP, 1996. ISBN: 85-7164-530-2
- [4] DeL Nero, Henrique. O Sítio da Mente. 1ª. ed. São Paulo: Collegium Cognitio Ltda, 1997. v. 6000. 510 p.
- [5] Guizhi, X., Ying, Z., Huijuan, H. and Weili, Y. Event-Related Potential Studies of Attention to Shape Under Different Stimuli Tasks.
- [6] LabVIEW – National Instruments – Virtual Instruments – Acesso em: <http://www.ni.com/>

- [7] Luck, Steve J. - An introduction to the event-related potential technique, 2005.
- [8] Luck, Steven J.; Woodman, Geoffrey F. and Vogel, Edward K. "Event-related potential studies of attention", Trends in Cognitive Sciences, vol. 4, No.11, November 2000, pp.432-440.
- [9] Niedermeyer, E.; Silva, F.L. Electroencephalography. Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields. 3. ed. Maryland: Williams & Wilkins, 1993.
- [10] Roberts, J. E.; Bell, M. A. Two- and three-dimensional mental rotation tasks lead to different parietal laterality for men and women. Department of Psychology, Armstrong Atlantic State University, 2003.

**ANEXO F – ARTIGO SUBMETIDO E APROVADO NO BICS08**  
*Fourth International ICSC Symposium on Biologically Inspired Systems* (BIS 2008), que  
aconteceu de 24 a 27 de junho de 2008, em São Luis, Maranhão, Brasil.

# Assessment of EEG signals with ERP technique in the cognitive attention process on 2D and 3D images

A. Balbinot

Laboratório de Biosinais – Eng. Elétrica – UCS  
Alameda João Dal Sasso 800, Prédio D  
Bento Gonçalves, RS 95700-000 Brazil

M. Chiaramonte

Laboratório de Biosinais – Eng. Elétrica – UCS  
Alameda João Dal Sasso 800, Prédio D  
Bento Gonçalves, RS 95700-000 Brazil

G. Carra

Laboratório de Biosinais – Eng. Elétrica – UCS  
Alameda João Dal Sasso 800, Prédio D  
Bento Gonçalves, RS 95700-000 Brazil

**Abstract** - Based on Neurology and Cognitive Science many studies have been developed to understand the learning process in different people. The attention pathway can be used to identify the effort spent on learning. Event Related Potential is a basic and non-invasive method of electrophysiological investigation. It can be used to assess aspects of human cognitive processing such as visual attention pathway. This paper focused on ERP technique to discover the signal cerebral pathway related to an external visual stimulus. In that experiment we used 2D and 3D visual stimulus in the same picture. The signals were captured using 4 channel EEG system developed for this project and interfaced in an ADC board with LabVIEW system - National Instruments. The signals were math treatment and statistical techniques showing the relationship between cognitive pathway by groups and intergroups.

**Index Terms** — EEG, cognitive science, cognitive visual pathway, biologic signal, mathematical model.

## I. INTRODUCTION

For a long time scientists in the areas of health, education, psychology, communication, engineering, among others, have tried to understand how the neuronal bases of the human brain work with the purpose of identifying health / disease patterns and of understanding learning processes, either in their evolving or adaptive and ontological aspects.

The discovery of organization patterns and how human thought work have enabled the creation of new hypotheses about the learning process that affect the cognitive and motor systems.

The different results presented by scientists indicate that there are differences, which in some cases are significant, in the learning processes in the brains of men and women, children and adults, western and eastern people [1], [2], [3], [4], [5], [6].

Considering that the development of cognitive skills such as spatial manipulation of objects, construction of logical and

abstract, and full complex knowledge depends on innate prerequisites as well as on interaction with cultural and geographic environment, family, etc. Pinker and Gardner [7], [8], [9], it is necessary to understand how innate and cultural knowledge is acquired. Pinker describes cognitive faculties and innate intuitions of human beings based on physics, biology, engineering and psychology intuitive, a spatial, numerical and probability sense, and an intuitive economy, a logic and a mental database, as well as a language, and all these aspects support the most advanced specializations of the mind, in such a diversified form, when the subject is submitted to formal learning.

The ideas presented by the author support the desire of neuroscientists, scientists and researchers from different fields, to investigate the differences between cognitive and motor learning processes in humans [10], [11]. Such ideas are also compatible with the so-called multiple intelligences, proposed by Gardner. Gardner presented the theory of multiple intelligences and through this he proposed that there exists a multitude of intelligences, which are quite independent of each other; that each intelligence has its own strengths and constraints; that the mind is far from unencumbered at birth; and that it is unexpectedly difficult to teach things that go against early 'naive' theories of that challenge the natural lines of force within an intelligence and its matching domains.

Howard Gardner initially formulated a list of seven intelligences. The first two are ones that have been typically valued in schools; the next three are usually associated with the arts; and the final two are what Howard Gardner called 'personal intelligences': linguistic intelligence, logical-mathematical, musical intelligence, bodily-kinesthetic, spatial intelligence, interpersonal intelligence and intrapersonal intelligence.

According to Gardner, linguistic intelligence involves

sensitivity to spoken and written language; logical-mathematical intelligence consists of the capacity to analyze problems logically, musical intelligence involves skill in the performance, composition, and appreciation of musical patterns; bodily-kinesthetic intelligence entails the potential of using one's whole body or parts of the body to solve problems; interpersonal intelligence is concerned with the capacity to understand the intentions, motivations and desires of other people; intrapersonal intelligence entails the capacity to understand oneself, to appreciate one's feelings, fears and motivations and spatial intelligence involves the potential to recognize and use the patterns of wide space and more confined areas. That one is a kind of intelligence that we suppose to include in our proposals.

With the theoretical principle of scientists Pinker and Gardner pointing to the possible cognitive differences between humans and also supported by Cognitive Psychology, which refers to Psychometrics as instrumental in the decision making for the choice for a work area by a future professional [12], we ask whether it is possible to identify a cognitive pattern related to a specific area of knowledge using other neurology investigation techniques.

The empirical observation of the cognitive behavior of students from the areas of engineering, and considering that students should engage in complex cognitive and advanced processes during the course, one can suppose they already have (a priori) or have developed a specific profile of a professional of the area.

That is the premise that the Research Group in Biomedical Engineering from the University of Caxias do Sul (UCS - CARVI - Brazil), along with the Neurosciences group at PGIE-UFRGS, has been developing methodology with the objective to identify pathways of brain signals in engineering students and engineers, which may be related to the learning of complex subject matters and also with possible acquired or innate skills for the appropriate professional development [13].

The goal is to verify if there is a cognitive profile for engineers, and then evaluate and propose new teaching methods that can help in processes of teaching and learning of complex subject matters.

## II. METHODOLOGY

Through Neurosciences, the educational experimental research in laboratories has been developed with techniques involving instrumentation with electroencephalography - EEG, MRI, fmRI, among others [14].

Because of the proposal of testing different mathematical models on the signals collected, an electroencephalogram - EEG (low-cost brain signal collecting instrument that allows temporal analysis of the signals captured) was developed, with technology of collecting brain signals supported by pre-existing hardware platforms [15], [16], [17], [18], and software to digitize and process signals, based on LabVIEW platform [19].

The EEG is a visible record of the activity generated by the

brain cells (neurons), and basically consists of a signal conditioner system (amplifiers and filters to capture the signals through noninvasive electrodes, that are fixed to the patient's head). The EEG sources are potentials generated by electrical cortical neurons, in response to a variety of stimuli, in the depth of the brain. These signals are in the category of microvolt, within a frequency range from 0.01 to 3 kHz.

The acquired brain signals are modeled mathematically with the purpose of finding patterns of cognitive behavior when the subject of the experiment is in the learning process. Although many theoretical models on the acquisition of knowledge have been proposed, validation depends on the same experiments that are well developed and refined with the use of technology.

### A. Applying the EEG-ERP Technique

In recent years a great deal of research about human cognitive patterns manifested through electrical brain signals have been carried out through the technique of ERP - Related to Potential Event. The ERP is a method that allows noninvasive electrophysiological measures of signal amplitude from 2 to 20  $\mu$ V in frequency ranges up to 100Hz (interest signal) [20], [21].

The referenced method, along with other image investigation techniques has allowed a greater understanding, with scientific input, on the functioning of the human behavior, since issues related to language, memory, and perception to motor and movement [22].

The latest educational processes have involved results of research carried out with neuroscientific techniques that indicate different student profiles and their different motivation limits. Knowing students' cognitive functioning concerning attention aspects may allow a significant improvement in the inter-subject-object relationship of learning.

In the cognitive process, attention is an issue that is always related to a mental function. Even in the simplest tasks performed, in a daily basis, we are always looking for a focus of attention or alternating between a few foci [23]. Thus, research on aspects of attention, one of the possible observations through ERP signs could result in indicators that will help in new educational and applied health projects.

In this paper experiments involving research on attention in visual patterns using the ERP technique with visual stimuli simple are described: objects presented in 2D and 3D. The goal is to check if 2D and 3D images of the same object provoke different efforts in terms of electrical signals in the same subject and between subjects. The effort will be identified by the occurrence of different frequencies and levels of magnitude between the signals (allocation of resources). The signs were collected by 4-channel EEG (electroencephalography) equipment developed by the Biosignals laboratory [17].

### B. Materials and Methods

Research about the attention process for the perception of different visual patterns was done as a pilot project of

experiments using:

1) *Subject*: two students between the ages of 20 and 30 years old from Electrical Engineering Course at UCS (University of Caxias do Sul), both male and with normal vision systems, here called A1 and A2 participated in the study;

2) *Experiment design*: the subjects were invited to participate and were in accordance with all procedures during the experiment. They were seated comfortably in a chair, placed inside a cabin, which was dark and totally isolated from the external environment, and their only vision was the monitor screen which was at a distance of 90 cm away from the subject and where it was possible to see the stimuli.

3) *Types of stimuli*: the stimuli presented were two images: a ball format, in two and three dimensions (2D and 3D), with the same color and same occupation in the monitor screen area, as shown in Fig. 1. All images were projected by the LabVIEW system (software and hardware from National Instruments), which was also used in the conversion of the analog-digital signal captured.



Fig. 1. The stimuli presented in three and two dimensions

4) *Procedures*: the stimuli were organized into two sequences with five distinct images (each sequence contained only one image type: 2D or 3D). In that experiment, the stimuli were scheduled to appear during 100ms at intervals of 1300ms. The experiment was organized from random lottery (double-blind) of subject and sequence to be executed. Each subject participated twice in each experiment (subject to two levels A1 and A2 in two types of experiments (2D and 3D) on two levels). The subjects were shown the pictures that served as incentives before the experiment started with the objective of reducing the anxiety in the viewing process and caused less impact as a surprise element.

### III. SIGNAL ACQUISITION AND TREATMENT

During each experiment, students used a standard cap with non-invasive electrodes, with less than  $3k \Omega$  impedance, prepared in the international system 10-20. The position headset was used as reference. In signs captured, measured at each point in the scalp, a high-pass 0.01Hz filter and 10,000-time total gain amplifiers were used. After treating the analog signals in the system, they were acquired digitally through the LabVIEW system, with acquisition rate of 1000 samples/s. The signals were scan-filtered with low-pass filter at 55Hz. A previous analysis of the signals digitized by mathematical treatment with Fast Fourier Transform (FFT), and previous studies in experiments performed by other researchers [23], led to the decision for treating the signs with more latent

energy of signal, then considering the channels on points Pz, P3 and P4. Fig. 2 shows the points for the position of the electrodes in the 10-20 system and highlights the points used in these experiments.

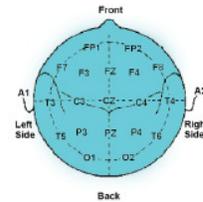


Fig. 2. The position of the electrodes in the 10-20 system

For the mathematical treatment of the signs acquired and selected, each of the signals from each experiment (2D, 3D) of each subject A1, A2, at every point Pz, P3 and P4 was sectioned into windows times of 200 ms (defined by cells for the data processing). The windows (cells) correspond to the interval between 200 ms and 400 ms after presentation of stimuli (window chosen was determined because of the occurrence of the significant ERPs signals for attention in 200 ms and 300 ms (called P200 and P300)).

### IV. RESULTS

The mathematical treatment applied in each window of time was Fast Fourier Transform (FFT). The results of this first processing stage allowed the verification greatest magnitude points of the signal as for frequency. The frequencies that had the greatest magnitude, in the meantime, were chosen for mathematical and statistical evaluation.

Mathematical considerations presented in Table I, about the signals present in that interval (often the greatest magnitude) are based on technical projects of experiments. For this project the technique Factor Complete was selected with the following three factors controllable:

- 1) *Subject to two levels (the control factor A)*;
- 2) *experiments on two levels: 2D/3D (the control factor B)*;
- 3) *points of acquisition: Pz, P3 and P4 at three levels (control factor C)*.

TABLE I  
FACTORS OF EXPERIMENT CONTROL OF AND SIGNIFICANCE

Source Range	Quadratic Average	Significant?
Controllable factor A	172.32	NOT SIGNIFICANT
Controllable factor B	19.20	NOT SIGNIFICANT
Controllable factor C	5.51	NOT SIGNIFICANT
Interaction AB	746.01	SIGNIFICANT
Interaction AC	24.74	NOT SIGNIFICANT
Interaction BC	80.01	NOT SIGNIFICANT
Interaction ABC	13.84	NOT SIGNIFICANT

Data were statistically handled with a degree of certainty of 95% for a significance of 0.05.

The control factors were correlated within each other, with factors and as a whole. The results show that the correlation of the control factors between themselves does not present significance, or there is no significant difference between the patterns of signals of the same subject (A x A) on the various acquisitions made, are of stimuli 2D or 3D. Similarly, there is no significant difference to be pinpointed between acquisition points in the scalp (C x C). The signals obtained at each point, referring to experiment 2D or 3D (B x B) remain not significant, indicating that there is no difference in frequency or magnitude varying above what had been estimated statistically.

In the procedure for crossing the controllable factors, relations between the subjects and types of stimuli (A x B), between the subject and points to capture in scalp (A x C), between the types of stimuli and points to catch in the scalp (B x C) and a general correlation between the three variables of control (A x B x C) were made. The significant resulting from these procedures only occurred when the subjects were compared among themselves and the types of visual stimuli.

The results for that significance point to a difference in the level of resources allocated and significant variation in the range of frequency of greater magnitude for each subject for each type of stimulation. Chart 1 shows the difference between A1 and A2 subjects in the recognition of 2D and 3D patterns. The FFT average of greater magnitude for the recognition of 2D visual standard (control factor B1), for A1 subject is concentrated around 21.92 Hz, whereas for subject A2, the same reference point is at 29.34 Hz. For the 3D stimulus (B2), the FFT averages of greater magnitude in each interval are, respectively, for subjects A1 and A2 at 26.15 Hz and 23.52 Hz.

The other correlations are not significant. Changes in frequency and magnitude measures in these experiments do not indicate any cognitive singularity in this group, except when comparing subjects individually and their efforts to recognize standards. Evoked ERP signals in P200 and P300 are correlated with the presence of the cognitive process of attention. The analysis of EEG signals, according to reference [24] also shows the frequency range between the values of 14Hz to 39Hz frequency as BETA, which is associated with active vigil, that is, it signals an active cortex and intense state of attention.

The concordance between the range of frequencies obtained in interval of time specified for the ERP evaluation of the two subjects and the basis determined as Beta range (14 to 39Hz) seems to point to the presence of frequencies involving attention during the occurrence of ERPs in this experiment. This finding confirms quotes from other authors [23] linking signals P200 and P300 with attention on visual stimulus.

As for the issue of research on the demand and allocation of resources, in terms of electrical signals, for the identification of different stimuli (2D and 3D of the same object) in the same subject and between subjects, the results indicate significantly a difference in cognitive effort between subjects when submitted to the same visual stimulus. What

occurs then is that the process of attention of the subjects of the experiment, focused on the visualization of objects with different patterns, takes in a distinct manner for this group.

## V. CONCLUSIONS

The research being conducted wants to add value to scientific and technological areas, through scientific methodology applied to the educational issue, with multidisciplinary approach, including Cognitive Science, Neurosciences and Psychometrics, and the development of technology to monitor activities in this experiment area. It wants to contribute with the current discussions on the existing cognitive conditions of students with specific profiles for different areas of knowledge, and as by-product, give support to the health sector with results that can generate new technical approach to the neurological assessment.

It should also approach the human cognitive functioning in general, focusing on the learning processes involving complex subject matters and logical reasoning, spatial reasoning in particular, such as students majoring in different areas of engineering. Our intent is to base the development of a mathematical model of that learning process to enable the achievement of results of simulations on different methods of accessing the subjects acquired by the individuals, and exploring methodologies for basic neuroscientific (electroencephalographic, among others) and theoretical justifications of education and cognition areas (Science and Cognitive Psychometrics) with the goal of guiding the experiments and interpreting the results.

## REFERENCES

- [1] M Grosman, e grupo. Age-related changes in working memory during sentence comprehension: an fMRI study. Department of Neurology, University of Pennsylvania, 2002. Acesso em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?CMD=search&DB=pubmed>
- [2] S. Harwant; G O'Boyle, and M. W. Sex Differences in Matching Circles and Arcs: A Preliminary EEG Investigation. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain, and Cognition* -Volume 2, Number 1 / March 1, 1997. Acesso em: <http://www.ingentaconnect.com/content/psych/plat/1997/00000002/00000001/art00006>
- [3] S H Houzel, -. *O Cérebro Nosso de Cada Dia – descobertas da neurociência sobre a vida cotidiana*. 3a edição, Vieira e Lent, Rio de Janeiro, 2002.
- [4] U. T. Kuhnen, *Pensar à Oriental – Viver Mente e Cérebro* – dezembro de 2004.
- [5] J. E Roberts.; e , M. A Bell. Sex Differences on a Mental Rotation Task: Variations in Electroencephalogram Hemispheric Activation Between Children and College Students - - Department of Psychology, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2000.
- [6] J. E Roberts.; e , M. A Bell. Two- and three-dimensional mental rotation tasks lead to different parietal laterality for men and women. Department of Psychology, Armstrong Atlantic State University, 2003.
- [7] S. Pinker, *Tabula Rasa – a negação contemporânea da natureza humana*. São Paulo, Companhia das Letras, 2002.

- [8] H.Gardner, *Estruturas da Mente: A Teoria das Inteligências Múltiplas*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.
- [9] H. Gardner, (1998). *Inteligência: múltiplas perspectivas*. Tradução Maria Adriana Veríssimo Veronese. Porto Alegre: Artmed.
- [10] H.Del Nero, *O Sítio da Mente*. 1ª. ed. São Paulo: Collegium Cognitio Ltda, 1997. v. 6000. 510 p.
- [11] K. Devlin, – *The Math Gene*, Weidenfeld & Nicolson, Great Britain, 2000
- [12] M. Balbinotti, *Projeto de Pesquisa: Construção e Análise das Qualidades Psicométricas de 3 Questionários Aplicáveis a Estudos de Psicologia e de Administração: Discutindo Motivações, Operações e Gestão Ambiental*. Unisinos, 2003.
- [13] M.I Timm., *Elaboração de projetos como estratégia pedagógica para o ensino de Engenharia (curso à distância de projeto no modelo e-learning-by-doing)*, tese de doutorado. Orientador: Prof. Fernando Schnaid. Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, UFRGS, Porto Alegre, 2005.
- [14] M. Chiamonte; Carra, M; Timm, M I; Zaro, MA; Schnaid, F. (2007). Em busca de um padrão cognitivo na engenharia In: ICECE 2007 Conferência Internacional em Educação em Engenharia e Computação, 2007, Monguaçu e Santos. Anais do ICECE 2007 - Homepage: <http://www.copec.org.br/icece2007/port/index.htm>
- [15] Active Electrodes for modular EEG, disponível em <<<http://uazu.net/ee/ae.html>>> Acessado em 01/08/06.
- [16] Amplifiers for bioelectric events: a design with a minimal number of parts, disponível em <<<http://www.biosemi.com/publications/artike17.htm>>> Acessado em 01/08/06.
- [17] M. Carra, ; M. Chiamonte; A. Balbinot, *Desenvolvimento de um protótipo EEG como ferramenta para caracterização de sinais cerebrais em atividades relacionadas a raciocínio lógico*. In: II Encontro Nacional de Biomecânica, 2007, Évora. Actas do II Encontro Nacional de Biomecânica 2007, Lisboa - Portugal: IST Press, 2007. v. I, p. 387-392.
- [18] The Experimental Portable EEG/EMG Amplifier, disponível em [www.ece.uvic.ca/499/2003a/group11/the-report.pdf](http://www.ece.uvic.ca/499/2003a/group11/the-report.pdf)> Acessado em 01/08/06.
- [19] LabVIEW – National Instruments – Virtual Instruments – Acesso em: <http://www.ni.com/>
- [20] L. J Steve. - An introduction to the event-related potencial technique, 2005.
- [21] L. J Steve J.; G. F. Woodman, and E K Vogel. "Event-related potential studies of attention", *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 4, No.11, November 2000, pp.432-440.
- [22] A.Damáscio, *O Erro de Descartes - Emoção, razão e o cérebro humano*. Companhia das Letras. SP, 1996. ISBN: 85-7164-530-2
- [23] X Guizhi., Z Ying., H Huijuan., and Y Weili., *Event-Related Potential Studies of Attention to Shape Under Different Stimuli Tasks*.
- [24] E Niedermeyer.,; F.L. Silva, *Electroencephalography. Basic Principles, Clinical Applications, and Related Field*. 3. ed. Maryland: Willians & Wilkins, 1993.

**ANEXO G – CAPÍTULO DE LIVRO – SPRINGER VERLAG - 2010****Cognitive measure on different profiles**

Marilda Spindola<sup>1</sup>, Giovani Carra<sup>1</sup>, Alexandre Balbinot<sup>1,2</sup> and Milton A Zaro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Biomedical Engineering Research Group – NPEngBio

Departamento de Engenharia Elétrica

Universidade de Caxias do Sul – UCS

Alameda João Dal Sasso, 800 – Zip Code: 95700-000 – Bento Gonçalves, RS, Brazil

[mschiara@ucs.br](mailto:mschiara@ucs.br), [gcarra4@ucs.br](mailto:gcarra4@ucs.br), [abalbinot@gmail.com](mailto:abalbinot@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Elétrica - DELET

Laboratório de Instrumentação Eletro-Eletrônica - IEE

Av Osvaldo Aranha, 103 - Bom Fim - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 90035-190

Fone: (51) 3308-3326

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Programa de Pós-graduação em Informática na Educação

Av. Paulo Gama, 110 - prédio 12105 - 3º andar sala 332

90040-060 - Porto Alegre (RS) - Brasil

[zaro@ufrgs.br](mailto:zaro@ufrgs.br)

**Abstract**

Based on neurology and cognitive science many studies are developed to understand the human model mental, getting to know how human cognition works, especially about learning processes that involve complex contents and spatial-logical reasoning. Event Related Potential – ERP - is a basic and non-invasive method of electrophysiological investigation. It can be used to assess aspects of human cognitive processing by changing the rhythm of the frequency bands brain indicate that some type of processing or neuronal behavior. This paper focuses on ERP technique to help understand cognitive pathway in subjects from different areas of

knowledge when they are exposed to an external visual stimulus. In the experiment we used 2D and 3D visual stimulus in the same picture. The signals were captured using 10 (ten) Electroencephalogram - EEG - channel system developed for this project and interfaced in a ADC (Analogical Digital System) board with LabVIEW system - National Instruments. That research was performed using project of experiments technique – DOE. The signal processing were done (math and statistical techniques) showing the relationship between cognitive pathway by groups and intergroups.

#### Table of Contents

<b>1. Introduction</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Theoretical considerations</b> .....	<b>3</b>
<b>3 Materials and Methodology</b> .....	<b>5</b>
<b>4 Result analysis</b> .....	<b>10</b>
<b>5. Conclusion</b> .....	<b>17</b>
<b>6. References</b> .....	<b>18</b>

## 1. Introduction

The discovery of organization patterns and how human thought work have enabled the creation of new hypotheses about the learning process that affect the cognitive and motor systems. Considering that the development of cognitive skills such as spatial manipulation of objects, construction of logical and abstract, and full complex knowledge depends on innate pre-requisites as well as on interaction with cultural and geographic environment, family, etc, it is necessary to understand how innate and cultural knowledge is acquired.

With the theoretical principle of scientists Pinker (1997) and Gardner (1999) pointing to the possible cognitive differences between humans and also supported by cognitive science and the empirical observation of the cognitive behavior of students from areas of scientific and technological knowledge, and considering

that students should engage in complex cognitive and advanced processes during the course, one can suppose they already have (a priori) or have developed a specific profile of a professional of the area.

That is the premise that the Research Group in Biomedical Engineering from the University of Caxias do Sul (UCS - CARVI - Brazil), along with the neurosciences group at PGIE-UFRGS, has been developing methodology with the objective to identify pathways of brain signals for specific cognitive activities in subjects with different cognitive profiles.

## **2.Theoretical considerations**

The advances in neurosciences and investigative techniques on cerebral sign patterns associated to cognitive demands have allowed education to discover new methodologies and derive theoretical postulations that can help formulate new models for different pedagogical practices, associated to different cognitive profiles. The latest educational processes have involved results from researchers that point to different kinds of learners and different motivations circumscribing them. To know people's cognitive functioning regarding cognitive aspects related to spatial abilities will enable significant improvement in the inter-relationship between subject and learning object. Considering how important this theme is to understand human learning processes and to prepare better teaching processes, for areas of scientific and technological knowledge, human and social sciences, the research proposed herein is aimed at the understanding of how mental models are formed, especially on those matters regarding spatial abilities (Gardner 1999).

Amongst the several concepts applied to the mental model, the most adequate one for this research refers to the formation and strengthening of the neuronal net through the presence of more synapses associated to stimulus that modify the concepts and the relationship between the subject and his environment (Merrill 2000). The learning process is directly linked to the formation and changes to the mental model of a subject learner according to the stimuli that he is subject to. Moreover, according to the literature, the majority of the subjects can easily alter, remodel

and create new mental models when the external stimulus is visual (Desimone and Duncan 1995) (Kastner and Ungerleider 2000). The ease to recognize visual stimuli which is a component of the spatial ability is one of the parameters which cognitive scientists have used to classify or quantify the mental model of a subject learner.

Many researchers have shown it is possible to identify and measure different patterns of cerebral signals, related to external visual stimulus, when subjects are submitted to tasks of recognizing simple geometric images (circles, squares, triangles) presented in virtual format of 2 and 3 dimensions accordingly (Guizhi 2006). The measured signals can be utilized as parameters of identification amongst different mental models of subject learners, relating to spatial ability, for the proposed stimulus.

Relations between cognitive phenomena and human biological mechanisms were more deeply observed and interpreted thanks to state-of-the-art technology in the prospection area for cerebral activity, through non-invasive methods such as quantitative electroencephalograms (EEGqs) (Ribeiro 2005). EEG sources are electrical potentials generated by cortical neurons, which respond to several stimuli on the depth of the brain. Cerebral activity is captured on the surface of the scalp by means of electrodes. The observation of significant alterations in the cerebral signal in healthy subjects, in relation to knowledge of a visual pattern that concern tasks that involve visual stimulus, occur mostly in the frontal and parietal regions, when the signal is measured between 300-600 ms after the stimuli is applied (Bledowski 2004, Luck 2005, Schumacher 2005).

By using specific software for the treatment of signals obtained from the EEG, it has become possible to build maps of cerebral activities at certain moments, making it easier to understand electrical potentials on the surface of the brain. Consistent research show the correlation between certain kinds of waves with alert activities and cerebral processing, such as Beta activity which is characterized by its low amplitude and which appears on the frequency band from 14 to 40 Hz (Roberts and Bell 2000), (Luck 2000), (Guizhi 2006). With quantitative analysis of the cerebral electric activity, which uses technological resources on the evalua-

tion of the EEG, it is possible to overcome the visual exam of the plotting that comprises a significant subjective component (Fonseca 2003). The analysis of EEGs has also indicated that, during the presentation of stimuli, specific changes take place on cerebral signals, represented by a significant increase in the synaptic activity of millions of neurons simultaneously. Changes on electrical potentials of the membrane occur in fractions of a second after stimulus was presented on different regions of the brain. These potentials evoked by a stimulus take place in a synchronized way. The result from the electrical potentials of a neuronal population is known as Event-Related Potentials (ERP) (Luck 2005), which consists on a series of positive and negative waves that can be identified either numerically or according to their latency. The main ERP components are N1, P2, N2 and P3. Each component is identified by the letter that indicates whether the wave is negative or positive and by the number that indicates the time of the occurrence, measured in tenths of seconds (Veiga 2004). The main focus of study on ERP has been the third positive wave, called P3 or P300 (Luck 2000). Component P300 usually occurs 300 ms after the presentation of stimuli associated to visual and auditory processes, and has been a powerful tool in the study of cognitive processes. As for measure P300, it is possible to quantify two variables: latency, whose measure reflects the time necessary to allocate resources and evoke the memory related to the stimulus, and the amplitude of signal, which allocates resources that focus the cognitive processes of immediate memory. Differences found in P300 measurements among the individuals, when subject to the same processes, and which evoke cognitive demands, make it possible to infer that there are differences between the capacity of processing and the speed rate on the cognition cerebral processes (Veiga 2004).

### 3 Materials and Methodology

Theoretical assumptions that support this research (Gardner 1999) and (Pinker 1997), and those matters that have already been mentioned concerning a possible relationship between resultants from variables related to the investigation on

measures of cognitive abilities, especially and particularly, spatial abilities and the different attention patterns given to virtual visual stimuli lead to carrying out experiments supported by electroencephalography (EEG), developed by Biomedical Engineering Research Group at University of Caxias do Sul (Carra et al 2007), using especially the ERP (Event-Related-Potential) technique. The goal is to identify different patterns on cerebral signals concerning attention evoked from the visual and spatial stimulus: recognizing 2D and 3D images, when the individual is subject to an experiment with visual stimuli that require attention. The investigation on the attention process during the perception of different visual patterns on volunteers of two different areas of knowledge was carried out as Design of Experiments – DOE (Montgomery 2000).

*Design of Experiments is a technique used to plan experiments*, it encompasses which data will be used, in which quantity and in which conditions it must be collected for a specific experiment, basically trying to satisfy two main objectives: the best possible results with statistical precision at the smallest expense (Montgomery 2000). This methodology is strongly based on statistical concepts, designed to optimize the planning, execution and analysis of an experiment (Ten Caten 2007). The objective of the Design of Experiments for the scientific investigation in the area of cognitive science includes helping in building a base of trusted knowledge and in this way reducing uncertainties involving which theories, tools and methodologies would be more adequate for certain contexts. Ten Caten (2007) presents some important concepts in the planning of a experiment: *output variables that are the output variables (answers)* of the process which can be measured and that allow for quantification of characteristic behavior of a system; *process parameter that encompass all the process variables (present in the experiment) which can be changed and which may have an influence on the output variables*; controllable factors that are a subdivision of the process parameters, elected to be studied at several steps of the experiment; levels that correspond to each adjustment of the controllable factors used on the experiment, e.g., the two types of areas of knowledge or the two types of presentation of the visual stimuli; *constant factors are the process parameters that are not contemplated in the ex-*

*periment and that are kept constant during its execution; uncontrollable factors (noise) are the variables that cannot be controlled by the research group*, being responsible for the experimental error, that is, an experimental fluctuation, e.g., the power source noise; interactions occur in the study of 2 or more controllable factors, when the effect of one of the factors depends on the adjustment established for another factor.

The *Design of Experiments methodology* facilitates the experimental procedures proposed for neurosciences and allows for the testing with control over the related variables, of quantitative and qualitative character, with the production of information that could point to conclusions, although temporary, regarding the neuroscientific hypothesis. The following described scientific experiment planning involve the methodology and statistical procedures of the *Design of Experiments*.

### 3.1 Experiment Project

The parameters of the *Design of Experiments* are hereby defined:

- *Subjects*: 16 (sixteen) young volunteers participated in this experiment; they were undergraduate students from two different areas of knowledge: social sciences, along with the students of the College of Law and students of the College of Design. In which area of knowledge, there were eight (8) participants equally divided between males and females. The experiment lasted four days, whereas the number of participants was distributed accordingly per day (with double-blind random assortment for the day's collection). Participants had a normal sight system. The number of participants follows the guidelines of the sampling for the Design of Experiments (Ten Caten 2007). The study was approved by the local ethics committee;
- *Kinds of stimuli*: stimuli presented consisted of two images: a ball shape, in two or three dimensions (2D and 3D), with the same color and same area occupied on the monitor screen, as shown in Figure 1.1. To obtain more statistical representativeness, the experiment contemplated five repetitions for each visual stimulation: 2D and 3D for each subject in the research. All images were projected by the LabVIEW system (software and hardware belonging to National Instruments), which is also used on the process of digital-analogical conversion the signal captured;

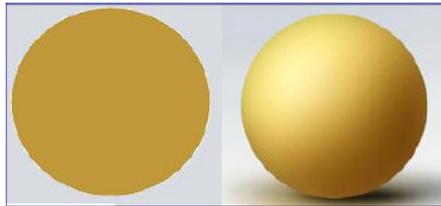


Fig. 1.1 Virtual visual stimuli

- *Response variables:* response variable to be considered is the cerebral signal measured in the experiment that is related to the alteration in the latent cerebral signal, after applying the visual stimuli. (for the experiment, a circular image was used and presented in 2D e 3D dimensions respectively). The measurement is amplitude parameter of electroencephalographic waves converted in magnitude in the frequency domain (analysis in the frequency domain). Differences related to potential evoked from spatial and visual stimulus are associated to the occurrence of different amplitudes and frequencies (magnitude levels between the signals), considered as different forms of allocating resources;
- *Controllable factors:* as for the definition of controllable factors we chose to carry out a complete factorial project with 3-controllable factors at several levels (Ten Caten 2007). The factors identified as controllable and having priority in this research are the subject's areas of knowledge in two levels, the visual stimulus presented in two levels (images 2D and 3D) and the researched scalp areas in 4 levels (we chose to evaluate only the most significant points in relation to the evoked signal for a visual stimuli) (Buschman 2007, Sakai 2008). Table 1.1 resume factors and number of levels for each one;

Factors	Level numbers	Level kinds
A: volunteers	2	2 (two) Knowledge areas
B: stimuli kinds	2	ball (2D) e ball (3D)
C: scalp points	4	FP1, FP2, P3 e P4

- *Experiment project:* subjects were invited to participate and agreed upon all the procedures during the experiment. Acquisition of data in the experiment was carried out in an acclimatized room, without audible noises, without any stimuli that could distract the subjects. Volunteers (subjects of the research) remained on a chair with back and head rest, in the most comfortable sitting position. The chair was positioned at a distance of 90 cm in front of a 15" screen, used to present the visual stimulus. Volunteers were connected to the ten lines of the

collecting system (EEG) by a cap with electrodes. Points used on the cap (FP1, FP2, F3, F4, P3, P4, C3, C4, T3 e T4) correspond to the international 10-20 system (Jasper System), used to standardize capturing and identification of the results, according to Figure 1.2;

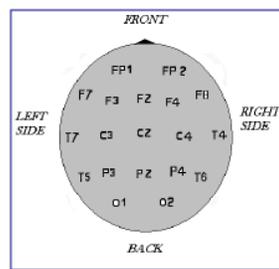


Fig. 1.2 International System 10-20

The collected data followed the experimental blockage restriction guidelines. The research's subjects followed the pre-established program, considering as blockage factor only the areas of knowledge, since in order to collect signals, it is necessary to collect them simultaneously from the different areas of the scalp, and being that the procedure follows a protocol that requires the used of a cap with electrodes, the use of a gel, etc, it becomes necessary to collect all the stimuli related signals simultaneously.

During the experiment procedures, some of the external factors that could inadvertently influence the obtained results were kept unchanged, for example: luminosity, temperature, and the sound level of the room. The collection of signals was done by the same operator and electroencephalogram equipment, besides being done at the same time of during the day.

#### 4 Result analysis

All changes on the EEG tracing were collected, but recordings related to muscular contraction because of winking and facial, neck and forehead muscular movement were excluded from later analysis. To avoid results arisen from anxiety processes, a base recording of the volunteer's neurophysiologic signals was performed during the first five minutes before executing the task proposed by the experiment. During that period the volunteer was asked to remain calm and relaxed and not to move abruptly. Such orientation given to the volunteer causes a change in their electrophysiological signals, making it possible to visualize the changes on the brain frequencies being displayed. This procedure is important because it assures that the system is responding properly to the capture of brain signals and also is necessary to compare the standard signal latency with the evoked signal. The task executed was to visualize two sequences of visual stimuli, each one of them containing the same 5 images (displayed at intervals of 100ms): 2D balls or 3D balls, with time intervals varying between 1800 ms and 2200 ms to avoid the oddball effect which is an alteration in the signal because of the surprise effect or wait conditioning for the same pattern of stimulus. Sequences were drawn before executing the experiment to prevent variable error effects as a result of a subject's fatigue or indisposition at the moment of visualizing the images.

During each test, the experiment volunteers utilized a standard electrode wired helmet, with impedance smaller than  $3k\Omega$ , disposed in the international system 10-20. The auricular position was used as reference. In the captured signals, on each measured point on the scalp, a high-pass 0.01Hz filter was used and amplifiers with total gain of 15000 times. After processing the signals in the analogical system, they were also acquired digitally through the LabVIEW system, with an acquisition rate of samples/s. The digitized signals were filtered with a low-pass filter in 55Hz.

Signals recorded each time a shape was repeated were cut into sections at interest time windows within 200ms and 450ms after image exposure. In that period of time, the P300 event occurs and the interest frequency (BETA) is manifested, in-

dicating volunteer's maximum attention to the stimulus proposed. The signals collected were digitized and processed according to the mathematical model of Fast Fourier Transform (FFT). These results indicate the amount of energy demanded for the brain signal at the moment of the experiment.

The response variable analyzed is identified as the magnitude in the (FFT) frequency domain of a time window of the signal that was collected, which corresponds to the change of brain signal due to visual stimulation. Signal FFT confirms that, in the interval when P300 occurs, the Beta rhythm is manifested and it is possible to estimate that, in this rhythm, there might be an intense vigilance stage, as part of a cognitive process.

Variance analysis on the data resulting from the variable "Maximum Magnitude in BETA band: cognitive coefficient" with quadratic sums, respective freedom degrees and quadratic averages of the factors observed can be found in Table 1.2. Data were statistically analyzed utilizing alpha significance level of 0.05 (5%).

Table 1.2 Variance Analysis

Source	Sum of square	DF	Mean Square	F value	F tab.	Significant?
SQA	1.23	5	0.25	13.24	2.26	Yes
SQB	0.08	1	0.08	4.36	3.89	Yes
SQC	7.17	3	2.39	128.66	2.65	Yes
SQAB	0.64	5	0.13	6.93	2.26	Yes
SQAC	0.35	15	0.02	1.27	1.72	No
SQBC	0.09	3	0.03	1.54	2.65	No
SQABC	0.18	15	0.01	0.64	1.72	No
Error	3.56	192	0.02	-	-	-
Total	13.30	239	-	-	-	-

The main effects of the factors and the interaction effect of two and three factors were analyzed. Results show that the main effects for factors "A" (volunteers), B (kinds of visual stimuli) and C (scalp points) are significant. That means there is significant difference between the signal patterns of the participants on several acquisitions, regardless of the kind of 2D or 3D stimuli or the scalp point factor. Likewise, there is significant difference to point out between the results concerning experiments 2D and 3D regardless of the area of knowledge and the

scalp point. In the analysis of the results obtained at each scalp point, we point out that there are significant differences in the magnitude. That condition was expected due to brain physiology itself, since the points chosen for analysis have distinct functions in the processing of visual stimuli (Luck 2000, Guizhi 2006).

The interaction effects were those from the interaction of two factors. Subjects of the experiment and the kinds of stimuli (A x B), subjects of the experiment and scalp capture points (A x C), kinds of stimuli and scalp capture points (B x C) and the triple interaction among the three control factors (A x B x C). Significant results in those procedures took place when subjects were compared among themselves and the kinds of visual stimuli (A x B), when subjects were compared among themselves and scalp points (A x C) and also when visual stimuli types were compared with scalp points (B x C). Results for these significances point to a difference in the degree of resources allocated with a significant variation of greater magnitude of the BETA frequency band (EEG pattern) for each subject in relation to each kind of stimulus. Next, Figure 1.3 shows the graphics for two factors of the interactions between participants and the kind of visual stimulus, participants and scalp points, and visual stimulus and scalp points, concerning magnitude.

Excluido:

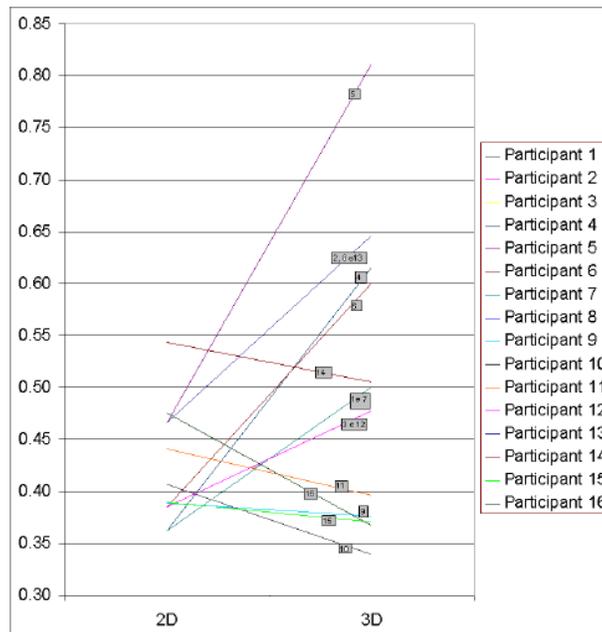


Fig. 1.3a Factor A (subjects) X Factor B (kind of stimulus)

Excluido: ¶

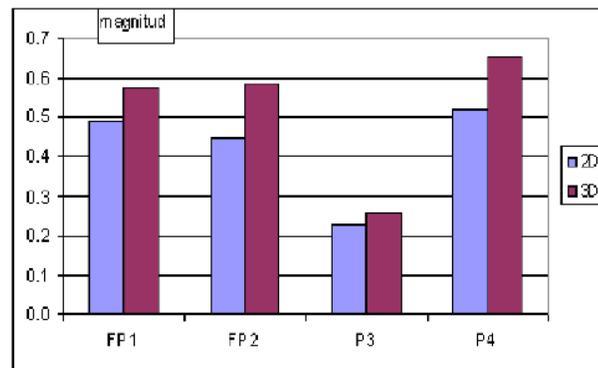


Fig. 1.3b Factor B (kind of stimulus) X Factor C (scalp points)

The graph in Figure 1.3a shows the difference between the magnitude average in the Beta frequency (through FFTs), of the brain evoked signal of the participants in the experiment that were subject to the visualization of 2D and 3D visual patterns. The graph in Figure 1.3b shows a significant difference between the kind of stimulus and scalp points. It is important to point out that the subjects of the experiment belong to two large areas of knowledge, here called A1 (scientific-technological area) and A2 (social-human area). By observing the tendencies between the subjects of the experiment relative to the first chart and knowing that the division between the areas of knowledge is split in the following way: participants from 1 to 8 belong to a scientific and technological knowledge area, and participants from 9 to 16 belong to a human and social sciences area, a new statistical analysis was done grouping the participants by area and therefore creating a bi-level factor in each area of knowledge. Table 1.3 shows variance analysis on the data resulting from the variable "Maximum Magnitude in BETA band: cognitive coefficient" with quadratic sums, respective freedom degrees and quadratic averages of the factors knowledge area in two levels, visual stimulus (2D and 3D) and

scalp points (FP1, FP2, P3 and P4). Data were statistically analyzed utilizing a alpha significance level of 0.05 (5%).

Table 1.3 Variance Analysis

Source	Sum of square	DF	Mean Square	F value	F tab.	Significant?
SQA	0.7	1.0	0.7	22.7	3.9	Yes
SQB	1.4	1.0	1.4	45.2	3.9	Yes
SQC	11.4	3.0	3.8	118.7	2.6	Yes
SQAB	1.5	1.0	1.5	47.4	3.9	Yes
SQAC	0.7	3.0	0.2	6.9	2.6	Yes
SQBC	0.3	3.0	0.1	3.2	2.6	Yes
SQABC	0.2	3.0	0.1	2.0	2.6	No
Error	20.0	624.0	0.0			-
Total	36.3	639.0				-

The new analysis shows significant results in those procedures that took place when knowledge area were compared between themselves and the kinds of visual stimuli (A x B), when knowledge areas were compared between themselves and scalp points (A x C) and also when the kinds of visual stimuli were compared with scalp points (B x C). Results for these significances point to a difference in the degree of resources allocated with a significant variation of greater magnitude of the BETA frequency band (EEG pattern) for each knowledge area related to each kind of stimulus (Figure 1.4a) and also for each knowledge area related to points of scalp (Figure 1.4b).

The Figure 1.4a presents average magnitude values with a crescent linear behavior between 2D and 3D patterns to subjects of knowledge an scientific area (A1), while subjects of area of human and social science (A2) shows average decreasing values for the same stimuli. The FFT average of greater magnitude for the recognition of 2D visual standard (control factor B1), for A1 subject is concentrated around 410 mV, whereas for subject A2, the same reference point is 440 mV. For the 3D stimulus (B2), the FFT averages of greater magnitude in each interval are, respectively, for subjects A1 and A2 at 600 mV and 430 mV. The refer-

ence scale for that measure is amplified 15000 times and calibrated in relation to the original signal of the scalp.

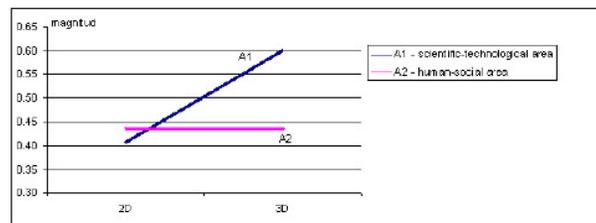


Fig. 1.4a Factor A (knowledge area) X Factor B (kind of stimulus 2D – 3D)

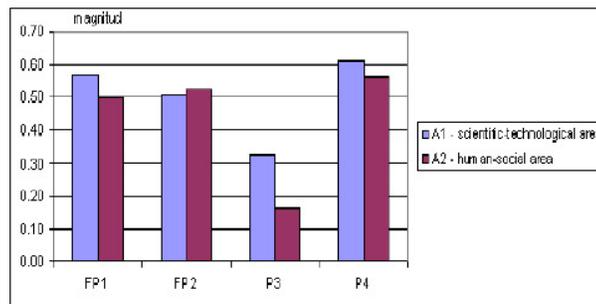


Fig. 1.4b Factor A (knowledge area) X Factor C (scalp points)

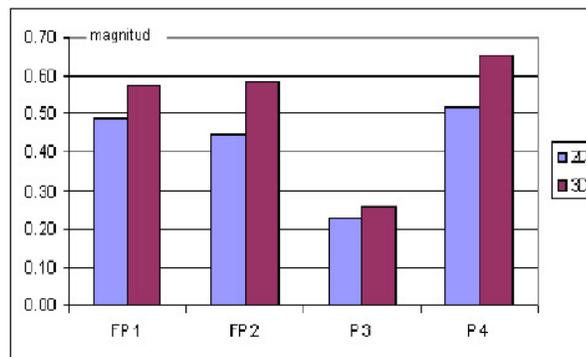


Fig. 1.4c Factor B (kind of stimulus) X Factor C (scalp points)

Figure 1.4b relates to each knowledge area the significant difference of magnitude between points of scalp. Figure 1.4c also relates to the measure to scalp points relative to visual stimulus 2D and 3D.

Those founds can be considered as indicators of cognitive pathways to different subjects of different knowledge areas. Of course those kinds of experiments are to be explored more in depth.

## 5. Conclusion

Quantification of brain signals is possible through proper instrumentation, such as, for example, electroencephalography used along with digitizing systems of analogical signals. LabVIEW platform enables us to carry out the conversion from analogical into digital and to mathematically model the signals obtained.

Electroencephalography applied in the research made it possible to analyze brain signals evoked from the experiment with graphic 2D and 3D visual stimuli and measure those signals in different scalp points, in a non-invasive way, on dif-

ferent subjects belonging to two large areas of knowledge: scientific technological and human-social.

Concerning the issue of investigating resource demand and allocation in terms of electrical signals for the identification of different stimuli (2D and 3D of the same object) on the same subject and between different subjects, the results point significantly towards a difference in cognitive effort among the subjects, above all those pertaining to different areas of knowledge, when they are subjected to the same visual stimulus. What is observed is that the attention process in the subjects of the experiment, focused on the visualization of objects with different patterns, takes place in a diverse form for that group.

Concordance between frequency band obtained at time windows specific for the evaluation of the ERPs for the subject group and the base determined as Beta band (14 to 40Hz) points to the presence of frequencies that involve cognition during the occurrence of ERPs in this experiment. This finding confirms information cited by other authors (Luck 2000), (Guizhi 2006) about linking P200 and P300 signals with cognition to visual stimulus.

The study carried out intends to aggregate value to scientific and technological areas through scientific methodology applied to educational matters, with multidisciplinary approach, including cognitive sciences, neuroscience and psychometrics, as well as the development of technology for monitoring experimental activities in this area.

## 6. References

- Bledowski C, Prvulovic D, Hoechstetter K, Scherg M, Wibral M, Goebel R, Linden DE (2004). Localizing P300 Generators in Visual Target and Distractor Processing: A Combined Event-Related Potential and Functional Magnetic Resonance Imaging Study. Department of Psychiatry, Johann Wolfgang Goethe University, Frankfurt, Germany.
- Buschman T J, Miller E K (2007). Top-Down Versus Bottom-Up Control of Attention in the prefrontal and Posterior Parietal Cortices. *Science* 30 March 2007: Vol. 315, no. 5820, pp. 1860–1862.
- Carra M, Balbinot A, Chiamonte M (2007) Desenvolvimento de um protótipo EEG como ferramenta para caracterização de sinais cerebrais em atividades relacionadas a raciocínio lógico. In: II Encontro Nacional de Biomecânica, Évora. Actas do II Encontro Nacional de Biomecânica. Lisboa - Portugal: IST Press, 2007, v. I, p. 387-392.

- Cunha J A (2003) *Psicodiagnóstico -V*. Artmed, 2003, Porto Alegre, Brasil.
- Desimone R, Duncan J (1995) Neural Mechanisms of Selective Visual Attention. *Annual Review of Neuroscience*. Vol. 18: 193-222 (Volume publication date March 1995).
- Fonseca L C, Tedrus G M, Martins S M et al "Quantitative electroencephalography in healthy school-age children: analysis of band power". *Arq. Neuro-Psiquiatr*, Vol.61, No.3B, Sept. 2003, pp.796-801.
- Gardner H (1999) *Intelligence Reframed: Multiple Intelligences for the 21st Century*. BasicBooks.
- Guizhi X, Ying Z, Huijuan H and Weili Y (2006) Event-Related Potential Studies of Attention to Shape Under Different Stimuli Tasks.
- Kastner S, Ungerleider L (2000) Mechanisms of Visual Attention in the Human Cortex. *Annual Review of Neuroscience*. Vol. 23: 315-341 (Volume publication date March 2000).
- Luck J S, Woodman G F and Vogel E K (2000) "Event-related potential studies of attention", *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 4, No.11, November 2000, pp.432-440.
- Luck J S (2005) An introduction to the event-related potential technique.
- Merrill, M.D. (2000), "Knowledge objects and mental-models", in Wiley, D. (Eds), *The Instructional Use of Learning Objects*, Online Version, available at: [www.id2.usu.edu/Papers/KOMM.PDF](http://www.id2.usu.edu/Papers/KOMM.PDF) (accessed February 22, 2009).
- Montgomery D C (2000) *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley and Sons, New York, 5th Edition.
- Pinker, S. 1997. *How the Mind Works*. New York: Norton.
- Ribeiro L O M, Timm M I, Becker F and Zaro M A (2005) Monitoramento da atividade cognitiva através de EEG e seu uso potencial na avaliação de ambientes virtuais de aprendizagem e simuladores. GCETE Global Congress on Engineering and Technology Education, March 13 - 16, 2005, São Paulo, Brazil.
- Roberts J E and Bell M A (2000) Sex Differences on a Mental Rotation Task: Variations in Electroencephalogram Hemispheric Activation Between Children and College Students. Department of Psychology, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Sakai K (2008) Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices. Department of Cognitive Neuroscience, Graduate School of Medicine, The University of Tokyo. *Annual Review of Neuroscience*. Vol. 31: 219-245.
- Schumacher E H, Hendricks M J, D'Esposito M (2005). Sustained involvement of a frontal-parietal network for spatial response selection with practice of a spatial choice-reaction task. School of Psychology, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.
- Ten Caten C (2007) *Material de Suporte: Probabilidade e Estatística*. Porto Alegre, Brasil.
- Veiga H, Deslandes A, Cagy M, McDowell K, Pompeu F, Piedade R, Ribeiro P (2004) Visual Event-Related Potential (P300): A normative study. *Arq Neuropsiquiatr* 2004, 62(3-A):575-581.