

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO  
MOVIMENTO HUMANO

**CRIAÇÃO, DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DO  
SOFTWARE: PROGRAMA DE AVALIAÇÃO NEUROMOTORA -  
PAN**

Gustavo Celestino Martins

2019

GUSTAVO CELESTINO MARTINS

**CRIAÇÃO, DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO  
DO SOFTWARE: PROGRAMA DE AVALIAÇÃO  
NEUROMOTORA - PAN**

Texto apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, da Universidade Metodista de Piracicaba, para a obtenção do Título de Doutor em Ciências do Movimento Humano.

Orientador: Prof. Dr. Guanis de Barros Vilela Junior

PIRACICABA

2019

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho a meus pais Hélio e Mari Neide por sempre me apoiarem e me incentivarem nos estudos e na vida. A minha esposa Maísa, minha companheira de jornada e da vida e a minha princesa Ana Rita que acaba de chegar ao mundo para nos trazer mais alegria e felicidade para toda nossa família.

## AGRADECIMENTOS

Escrever nessa parte para mim é motivo de muito orgulho, pois só eu sei o que passei para que este sonho se realizasse, pois sozinho isso seria quase impossível, então quero deixar meus sinceros agradecimentos a algumas pessoas que tenho uma eterna gratidão:

Primeiramente a Deus, por ter me dado forças e iluminado meu caminho em mais uma conquista.

Aos meus pais Hélio e Mari Neide por todo ensinamento que me deram, por sempre estarem prontos para me ajudar, independente a situação, me apoiando e mostrando qual o melhor caminho, e tenho certeza que os ouvi e segui, obrigado por tudo, amo vocês.

A minha esposa Maísa por me apoiar e incentivar até o fim, pois sempre que estava para baixo ela vinha com suas palavras doces, me incentivando e auxiliando até o fim, e muito obrigado pela princesa Ana Rita que é por quem batalhamos hoje.

Ao meu irmão Juninho e minha cunhada Fabi que por várias vezes, conversamos sobre os conteúdos da nossa área que me faz abrir a cabeça e tentar ser um profissional cada vez melhor.

Ao meu amigo e orientador Prof. Dr. Guanis de Barros Vilela Junior, por todo carinho que tem com seus orientandos, seus ensinamentos, amizade e toda paciência que teve durante todo esse processo de dez anos, que se iniciou no mestrado em 2009 e perdura até os dias de hoje, e com certeza teremos grandes parcerias ainda, pelo longo de nossa trajetória, meu muito obrigado!!

A Dona Ana Stockler meus sinceros agradecimentos pois sempre que precisávamos fazíamos reuniões em sua casa, além da generosidade e educação dispensada nesses dez anos.

A professora Dra. Jaqueline Sonati pelas orientações em meu trabalho sendo membro da banca em minha qualificação.

Aos Professores Dr. Ídico Luiz Pellegrinoti (Deco), Dr. Fabio Baccin Fiorante, Dra. Heleise Faria dos Reis de Oliveira pela disponibilidade em aceitar o convite para avaliar e colaborar com importantes contribuições a execução desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Fábio Vieira pelo companheirismo no mestrado e uma parte do doutorado, onde passamos muitas coisas juntos, e aprendemos muito, e hoje poder contar como membro de minha banca de doutorado, é uma satisfação e honra enorme, pois sei de sua capacidade e profissionalismo, obrigado pelas importantes contribuições tanto na qualificação quanto defesa. Você é um irmão que a vida acadêmica me deu.

Não poderia deixar de agradecer aos meus amigos que a ciência me deu, a qual hoje chamo-os de irmãos, meu muito obrigado a Leandro, Raul e Claudião, pois são várias histórias que levarei para a vida inteira, sem contar com os auxílios e parcerias acadêmicas. Estaremos juntos sempre...

Obrigado a meus amigos do Núcleo de Pesquisa em Biomecânica Ocupacional e Qualidade de Vida (Unimep/CNPQ); Fernanda, Mauro, Ricardo, Valter, Bráulio, Daniel, André por todos os ensinamentos, contribuições em minha coleta.

E por fim, aos funcionários da Unimep, pelo carinho e dedicação que atendem nós alunos, sempre que mais precisamos.

Esta pesquisa foi realizada com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – Brasil.

## EPÍGRAFE

*“ Apesar dos nossos defeitos, precisamos enxergar que somos pérolas únicas no teatro da vida e entender que não existem pessoas de sucesso ou pessoas fracassadas. O que existe são pessoas que lutam pelos seus sonhos ou desistem deles”.*

*Augusto Cury*

## RESUMO

**Introdução:** O controle neuromotor enquanto área de investigação científica de natureza complexa e transdisciplinar relativas às mudanças no Sistema Nervoso Central (SNC), pretende compreender os processos e eficiência na execução de diferentes tarefas. **Objetivos:** criar, desenvolver e validar o Software chamado Programa de Avaliação Neuromotora (PAN)<sup>®</sup>; com potencial aplicabilidade na avaliação, no diagnóstico, prevenção e reabilitação de patologias neuromotoras. **Métodos:** estudo foi composto por 30 sujeitos de ambos os sexos com idade entre 18 e 67 anos, sendo 15 para o grupo controle (GC) e 15 para o grupo experimental (GE), todos saudáveis. A tarefa manipulativa avaliada foi a escrita do *kanji Nô*, em uma mesa digitalizadora, sendo que apenas o grupo experimental passou por um treinamento, com *feedback* visual de quinze dias de duração e na escrita do *kanji* cem vezes. Em todos os testes estatísticos foi avaliada a normalidade dos dados, o poder do teste, o tamanho do efeito e significância com  $P < 0,050$ . **Resultados:** Foi validada uma matriz de avaliação qualitativa específica para a tarefa proposta. Simultaneamente foi realizada a análise cinemática (quantitativa) de cada um dos doze traços que formam o *kanji*. O treinamento da tarefa foi determinante da diferença significativa entre os escores dos grupos. Os dados quali-quantitativos foram ponderados e através do modelamento específico observou-se elevada similaridade com o modelo de Hebb - Albus – Marr para a tarefa analisada.

**Palavras-chave:** validação de software, neurociência, cinemática.

## ABSTRACT

**Introduction:** neuromotor control as an area of scientific investigation of complex and transdisciplinary nature related to changes in the CNS, aims to understand the processes and efficiency in the execution of different tasks. **Objectives:** to develop and validate the Software called Neuromotor Evaluation Program (PAN) with potential applicability in evaluation, diagnosis, prevention and rehabilitation of neuromotor pathologies. **Methods:** The study consisted of 30 subjects of both sexes aged 18 to 67 years, 15 for the control group (CG) and 15 for the experimental group (EG), all of them healthy. The manipulative task evaluated was the writing of *kanji Nô*, on a tablet, and only the experimental group underwent a training with visual feedback of fifteen days duration and consisted in the writing of *kanji* a hundred times. In all statistical tests, the normality of the data, the power test, the effect size was evaluated; the significance was  $P < 0.050$ . **Results:** A qualitative evaluation matrix was validated for the proposed task. Simultaneously the kinematic (quantitative) analysis of each of the twelve traces that form the *kanji* was performed. The training of the task was determinant of the significant difference between the scores of the groups. Quali-quantitative data were weighted and through specific modeling, we observed a high similarity with the Hebb-Albus-Marr model for the task analyzed.

**Keywords:** software validation, neuroscience, kinematics.

## SUMÁRIO

1 - Introdução	16
1.1 - Objetivos	19
1.1.1 - Geral	19
1.1.2 - Específicos	19
1.2 - Hipótese	19
2 - Revisão da Literatura	20
2.1 – Neuroplasticidade compreendida como fenômeno complexo	20
2.2 – Neuroplasticidade e controle neuromotor	21
2.3 – Neuroplasticidade: lesões cerebrais e cerebelares	31
2.4 - O Modelo Hebb - Albus - Marr e avaliação da atividade cerebelar	34
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1 - Casuística	39
3.2 - Amostra	39
3.3 - Critérios de inclusão	39
3.4 – Aspectos éticos	39
3.5 - Eventuais riscos	40
3.6 - Instrumento	40
3.7 - Procedimentos	40

3.7.1 - Pesquisa piloto 1: Análise cinemática da variabilidade do controle neuromotor de mulheres em uma tarefa manipulativa	41
3.7.2 - Pesquisa piloto 2: Avaliação de tarefas manipulativas em diferentes contextos	42
3.7.3 - Pesquisa piloto 3: Determinação da velocidade de execução de diferentes tarefas manipulativas	45
3.7.4 - Pesquisa final: Avaliação qualitativa e quantitativa da tarefa manipulativa: escrever um <i>kanji</i> do alfabeto japonês	47
3.8 - Etapas de Validação do PAN®	53
3.8.1 – Validade de Conteúdo	53
3.8.2 – Consistência Interna	53
3.8.3 – Validade Discriminante	53
3.8.4 – Validade de Critério	54
3.8.5 – Validade de Concorrente	54
3.8.6 – Reprodutibilidade Temporal	54
3.9 - Tratamento Estatístico	55
4- Resultados e Discussões	56
4.1 – Etapas de Validação do PAN®	56
4.1.1 – Consistência Interna	56
4.1.2 – Validade Discriminante	57
4.1.3 – Validade de Critério	57
4.1.4 – Validade de Concorrente	58
4.1.5 – Reprodutibilidade Temporal	59
4.2 – Estatística e modelamento matemático	59

5 - Considerações Finais	84
6 - Referências	85
Anexos	91

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGAB	Acido Gama-Aminobutírico
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving-Average
AVE	Acidente Vascular Encefálico
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DDnDAP	Dynamic Drog-and-Drop Assistive Program
FFT	Fast Fourier Transform
GC	Grupo Controle
GE	Grupo Experimental
LTD	Depressão a Longo Prazo
LTP	Potenciação de Sinapses a Longo Prazo
NPBOQV	Núcleo de Pesquisa em Biomecânica Ocupacional e Qualidade de Vida
PAN®	Programa de Avaliação Neuromotora
PPSE	Potencial Pós-Sináptico Excitatório
PPSI	Potencial Pós-Sináptico Inibitório
SNC	Sistema Nervoso Central
SNP	Sistema Nervoso Periférico
TAC	Transcraniana de Corrente Alternada
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
tna_nt	Traço, $1 < n \leq 12$ , alinhamento não treinado
tne_nt	Traço, $1 < n \leq 12$ , espaço percorrido dos traços não treinado
tnet_101	Traço, $1 < n \leq 12$ , espaço percorrido dos traços treinado na centésima primeira execução
tni_nt	Traço, $1 < n \leq 12$ , inclinação não treinado

tnt_nt	Traço, $1 < n \leq 12$ , tamanho não treinado
tnt_nt	Traço, $1 < n \leq 12$ , tempo de execução dos traços não treinado
tnta_50	Traço, $1 < n \leq 12$ , alinhamento treinado na quinquagésima execução
tnta_101	Traço, $1 < n \leq 12$ , alinhamento treinado na centésima primeira execução
tnti_50	Traço, $1 < n \leq 12$ , inclinação treinado na quinquagésima execução
tnti_101	Traço, $1 < n \leq 12$ , inclinação treinado na centésima primeira execução
tntt_50	Traço, $1 < n \leq 12$ , tamanho treinado na quinquagésima execução
tntt_101	Traço, $1 < n \leq 12$ , tamanho treinado na centésima primeira execução
tntt_101	Traço, $1 < n \leq 12$ , tempo de execução dos traços treinado na centésima primeira execução
tnv_nt	Traço, $1 < n \leq 12$ , velocidade média dos traços não treinado
tnvt_101	Traço, $1 < n \leq 12$ , velocidade média dos traços treinado na centésima primeira execução

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Fenda sináptica	22
Figura 2 -	Esquema da divisão funcional do cerebelo	24
Figura 3 -	A mudança na sinapse $w_{ij}$ depende do estado do neurônio pré-sináptico $j$ e o neurônio pós-sináptico $i$ e a presente eficácia $w_{ij}$ , mas não do estado de outros neurônios $k$	36
Figura 4 -	Fluxograma das etapas da pesquisa	41
Figura 5 -	Imagem do sujeito percorrendo o labirinto com a caneta laser	42
Figura 6 -	Imagens da mesa de policarbonato (A), do gabarito com a silhuetas das peças (B), as peças (D) e as peças sobre a mesa (C)	43
Figura 7 -	Folha de treinamento	48
Figura 8 -	Folha de referência	49
Figura 9 -	Aquisição de dados na mesa digitalizadora	50
Figura 10-	Pontos e Linhas Referenciais Utilizadas na Matriz de Avaliação Qualitativa	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Estatística descritiva das tarefas de deslocar objetos sobre a mesa até o respectivo gabarito	44
Tabela 2.	Estatística descritiva da velocidade média de deslocar objetos sobre a mesa até o respectivo gabarito	46
Tabela 3.	Teste t comparando os critérios com as avaliações globais	57
Tabela 4.	Correlação Spearman para dados qualitativos e quantitativos	58
Tabela 5.	Estatística Descritiva – Tamanho dos traços sujeitos não treinados	60
Tabela 6 -	Estatística Descritiva – Tamanho dos traços sujeitos treinados_50	60
Tabela 7 -	Estatística Descritiva – Tamanho dos traços sujeitos treinados_101	61
Tabela 8 -	Estatística Descritiva – Alinhamento dos traços sujeitos não treinados	62
Tabela 9 -	Estatística Descritiva – Alinhamento dos traços sujeitos treinados_50	62
Tabela 10 -	Estatística Descritiva – Alinhamento dos traços sujeitos treinados_101	63
Tabela 11 -	Estatística Descritiva – Inclinação dos traços sujeitos não treinados	64
Tabela 12 -	Estatística Descritiva – Inclinação dos traços sujeitos treinados_50	64
Tabela 13 -	Estatística Descritiva – Inclinação dos traços sujeitos treinados_101	65
Tabela 14 -	Estatística Descritiva – Avaliação global sujeitos não treinados	65
Tabela 15 -	Estatística Descritiva – Avaliação global sujeitos treinados_50	66

Tabela 16 -	Estatística Descritiva – Avaliação global sujeitos treinados_101	66
Tabela 17 -	Estatística Descritiva – Tempo de execução dos traços sujeitos não treinados	68
Tabela 18 -	Estatística Descritiva – Tempo de execução dos traços sujeitos treinados_101	69
Tabela 19 -	Estatística Descritiva – Espaço percorrido dos traços sujeitos não treinados	70
Tabela 20 -	Estatística Descritiva – Espaço percorrido dos traços sujeitos treinados_101	70
Tabela 21 -	Estatística Descritiva – Velocidade média dos traços sujeitos não treinados	71
Tabela 22 -	Estatística Descritiva – Velocidade média dos traços sujeitos treinados_101	72
Tabela 23 -	Correlação de Spearman qualitativa sujeitos não treinados	73
Tabela 24 -	Correlação de Spearman qualitativa sujeitos treinados_50	73
Tabela 25 -	Correlação de Spearman qualitativa sujeitos treinados_101	73
Tabela 26 -	Correlações de Spearman significantes entre as variáveis qualitativas e quantitativas	76

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Tamanho dos traços nas três diferentes situações	66
Gráfico 2 -	Alinhamento dos traços nas três diferentes situações	67
Gráfico 3 -	Inclinação dos traços nas três diferentes situações	67
Gráfico 4 -	Topografia tridimensional da matriz quali-quantitativa da avaliação tarefa manipulativa	78
Gráfico 5 -	A: Cerebelar; B: Cérebro-Cerebelar; C: Cérebro-Tálamo-Cortical – As Três Vias Cerebelares do Modelo HAM	80
Gráfico 6 -	Intersecções das três vias cerebelares do modelo HAM	82

## 1- Introdução

O controle neuromotor é uma área de investigação que vem sendo estudada desde o século XVIII, gerando muitas questões sobre os processos inerentes à atuação do Sistema Nervoso Central (SNC), e suas relações com o Sistema Nervoso Periférico (SNP).

Segundo Buschges; Scholz e Manira (2011), controle neuromotor é o resultado de um processo de informações através de múltiplas redes neurais que atuam desde o início ao fim do movimento; demonstrando assim a complexidade inerente ao tema.

O controle neuromotor enquanto área de investigação científica de natureza multi, cross e transdisciplinar (JAPIASSÚ,1976) e, portanto, complexa, relativa às mudanças no SNC, pretende compreender os processos neuromotores na execução de investigação e diferentes tarefas.

O SNC apresenta um elevado nível de neuroplasticidade, onde as redes neurais são capazes de se adaptar às mudanças ocorridas no próprio SNC durante a execução de tarefas em diferentes contextos. Esse processo de controle e mudanças nos acompanham pela vida toda, desde o nascimento até a velhice, e junto a ele há uma interação com diferentes variáveis biológicas, psicológicas, sociais, culturais e ambientais.

O Sistema Nervoso Humano é fruto de um longo processo evolutivo e adaptativo, há pelo menos seis milhões de anos, com a consolidação da bipedia, nossos ancestrais remotos conseguiram a proeza de realizar a oposição do polegar em relação aos outros dedos da mão. Tal fato possibilitou ao gênero homo (*ergaster, erectus, neanderthal, sapiens*) a execução de movimentos de pinça de alta precisão, talhando lanças com pontas de pedra, construindo arcos e flechas e utensílios que facilitavam sua luta pela sobrevivência. Tais eventos possibilitaram, além de melhorias defensivas, o acesso a uma maior oferta de proteínas de origem animal, cruciais para o desenvolvimento do SNC, capacidade de fazer e controlar o fogo e a consolidação da fala, cultura e das artes há 180.000 anos (VILELA JUNIOR, et.al., 2015).

Um dos conceitos mais importantes na teoria do controle neuromotor é a capacidade de adaptação que pode se manifestar em diferentes níveis de

parametrização e complexidade estrutural.

Estudos do Controle Neuromotor usualmente adotam duas abordagens (VILELA JUNIOR, 2014):

1) a que tem como objeto de investigação o resultado do controle neuromotor;

2) a que tem como objeto investigativo o processo de alterações na execução do movimento;

Ambas muitas vezes, recorrem às variáveis cinemáticas e cinéticas para analisar a capacidade e eficiência do controle neuromotor.

Friston (2011) compreende que o controle neuromotor a partir do enfoque da complexidade, uma vez que o corpo humano, enquanto sistema biológico complexo, opera dentro de padrões de fluuabilidades, multiestabilidades, metaestabilidades e adaptações.

Obter uma avaliação neuromotora, é algo de extrema relevância para o desenvolvimento das pessoas, pois conforme o estudo de Manuel et al. (2018), mesmo em descanso a atividade cerebral está em funcionamento, e com isso resulta na melhora do desempenho em tarefas motoras e cognitivas.

Criar, desenvolver e validar instrumentos que possam avaliar a capacidade do controle neuromotor manual, apresenta elevada importância, uma vez que no Brasil usualmente tais instrumentos precisam ser importados e, portanto, os custos são elevados, o que compromete à acessibilidade de pesquisadores e profissionais na área da saúde, para que possam realizar avaliações e diagnósticos com melhor acurácia; este trabalho é fruto da pesquisa em equipe realizada junto ao Núcleo de Pesquisa em Biomecânica Ocupacional e Qualidade de Vida (NPBOQV), com certificação do CNPq.

A presente proposta é inovadora, uma vez que está em sintonia com as melhores tecnologias de desenvolvimento de softwares existentes, garantindo assim a otimização dos processos envolvidos no desenvolvimento do mesmo.

Tal pesquisa é justificada pela carência de instrumentos para avaliação de controle neuromotor, que apresentem uma relação custo / benefício acessível e compatível com a realidade brasileira.

Neste contexto, a criação, o desenvolvimento e validação do Programa de Avaliação Neuromotora (PAN)<sup>®</sup> é potencialmente capaz de viabilizar a tríade

pesquisa, ensino e extensão, uma vez que contemplará cada uma delas nas diferentes etapas de consolidação do mesmo; isto atesta o compromisso social que a pesquisa científica deve ter com a sociedade no sentido de promover a sua saúde e melhoria da qualidade de vida.

## 1.1 - Objetivos

### 1.1.1 - Geral:

Criar, desenvolver e validar o Software chamado Programa de Avaliação Neuromotora (PAN)<sup>®</sup>; multiplataforma para avaliação do Controle Neuromotor Manual Humano, com potencial aplicabilidade na avaliação, no diagnóstico, prevenção e reabilitação de patologias neuromotoras.

### 1.1.2 - Específicos:

- Corroborar sua aplicabilidade e confiabilidade através da validade de conteúdo; consistência interna; validade discriminante, validade de critério e reprodutibilidade temporal;
- Realizar a análise qualitativa e cinemática de todos os traços utilizados na execução da tarefa;
- Associar variáveis quali-quantitativas para o mapeamento da complexidade deste tipo de avaliação;
- Avaliar o nível de ativação das três principais vias neuronais que caracterizam o aprendizado do *kanji* (cérebro-cerebelar; cerebelar e cerebelar-tálamo-córtex cerebral), utilizando o modelo de Hebb – Albus – Marr (HAM).

## 1.2 - Hipótese:

O Programa de Avaliação Neuromotora (PAN)<sup>®</sup> é um instrumento confiável para avaliar os diferentes níveis de ativação das três principais vias neuronais envolvidas no processo de aprendizagem de tarefas manipulativas.

## 2 - Revisão da literatura

Dada a impossibilidade de esgotar as nuances e o detalhamento de uma estrutura tão complexa como o SNC, optou-se por uma reflexão sobre os tópicos da neurociência elencados a seguir. Os mesmos foram identificados por sua relevância nos processos de aprendizagem e do controle neuromotor.

### 2.1 – Neuroplasticidade compreendida como fenômeno complexo

No escopo desta pesquisa a complexidade emerge a partir da neuroplasticidade e do esforço intelectual de construir modelos matemáticos que simulem as principais vias cerebelares. Sendo assim é realizada neste tópico uma breve revisão da neuroplasticidade do SNC, especialmente do cerebelo.

Uma das evidências desta complexidade está nas possíveis definições do que é *neuroplasticidade*. Por exemplo, para Duffau et al. (2006), neuroplasticidade é um processo contínuo, que além de dinâmico, coordenado e realiza a reestruturação dos mapas neurosinápticos, em pequena, média e longa duração de tempo para aprimorar a função dos circuitos neuronais.

Neuroplasticidade refere-se às modificações no sistema anatômico (dendritos, axônio, núcleos, etc.) e função (força sináptica, liberação de neurotransmissores, etc.) de neurônios, em resposta a estímulos ambientais ou internos. Portanto, neuroplasticidade é a geração de novos neurônios no cérebro adulto (neurogênese do hipocampo adulto) (SAMPEDRO-PIQUERO, SANTÍN e CASTILLA-ORTEGA, 2019).

Para Wainwright e Galea (2013), o termo neuroplasticidade compreende uma sequência de mecanismos, desde o nascimento, sobrevivência, migração e integração de novos neurônios até a neurite crescimento, sinaptogênese e modulação de sinapses maduras.

Segundo Budde et al. (2016), quando o cérebro humano se adequa às mudanças de solicitação, alterando suas características funcionais e estruturais que resulta em habilidades de aprendizagem e aquisição, chamamos de

neuroplasticidade.

Serão citados agora, estudos relativos a neuroplasticidade e controle neuromotor em sujeitos saudáveis nas diversas áreas de atuação profissional na área da saúde.

## **2.2 – Neuroplasticidade e controle neuromotor**

Estudos a respeito dos aspectos motores do desenvolvimento global e a neuroplasticidade de indivíduos saudáveis e/ou praticantes de atividade física vêm se tornando constantes dentro do contexto das ciências do movimento humano, especialmente em referenciais que tratam de melhores condições na avaliação e reabilitação com estes indivíduos. Desta forma, os estudos vêm se reestruturando em termos de conceitos teóricos e práticas efetivas, sendo importante analisar, observar e intervir nos processos que envolvem este desenvolvimento para elaborar estratégias pedagógicas a fim de promover este desenvolvimento global do indivíduo. A seguir serão detalhados aspectos neuroanatômicos do SNC mais relevantes para a presente pesquisa.

O cerebelo é uma grande estrutura encefálica, que se encontra na parte dorsal à ponte e o bulbo, ocupando no quarto ventrículo a maior parte do cérebro posterior (LATASH, 2015). O cerebelo juntamente com o cérebro, formam o Sistema Nervoso Suprasegmentar, e possuem um córtex que envolve um centro de substância branca (centro medular do cérebro e corpo medular do cerebelo) (MACHADO E HAERTEL, 2014).

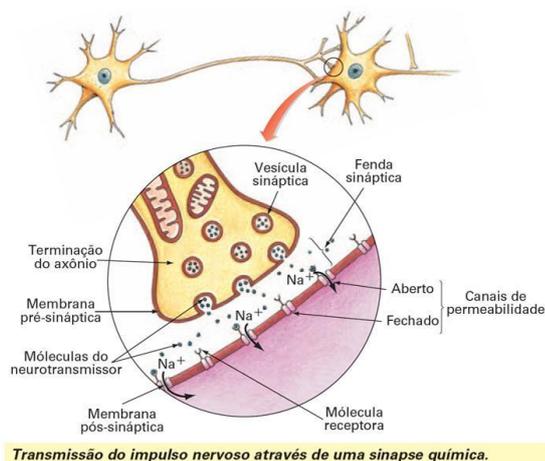
O cerebelo contém mais neurônios do que os encontrados no resto do encéfalo, o que atesta sua complexidade anatômico funcional. É descrito como um dispositivo de temporização, que assegura a ordem e o tempo correto da ativação muscular individual; de aprendizagem, tanto na memorização como habilidades motoras; de coordenação, organizando movimentos multiarticulares ou multimembros; compara erros emergentes durante um movimento, em relação ao plano motor (LATASH, 2015).

Uma das principais características dos neurônios, é a transmissão de informações de uma célula para outra, especificamente nas regiões especializadas das membranas celulares, onde as mesmas chegam bem perto

uma da outra, formando a sinapse.

Para Latash (2015), a sinapse é constituída por três componentes: **membrana pré-sináptica**, **membrana pós-sináptica** e **fenda sináptica**, como mostra a figura 1 a seguir:

**Figura 1. Fenda sináptica**



Fonte: Autor, (2019)

Segundo o mesmo autor, a membrana pré-sináptica pertence a célula que transmite a informação, a membrana pós-sináptica pertence a célula receptora de informação e entre uma e outra, possui uma lacuna denominada de fenda sináptica.

A transferência de informações de um neurônio para outro é mediada pela ação de neurotransmissores, os quais utilizam várias substâncias químicas que estão em vesículas, no neurônio pré-sináptico.

Os neurotransmissores envolvem as regiões do receptor estabelecido sobre a membrana pós-sináptica e despolarizam (potencial pós-sináptico excitatório – PPSE) ou hiperpolarizam (potencial pós-sináptico inibitório – PPSI).

Aminoácidos, aminas biogênicas e neuropeptídeos são três principais grupos de neurotransmissores, onde os aminoácidos são proteínas encontradas no corpo humano, essencialmente no Sistema Nervoso (SN) e tem como neurotransmissor mais assíduo o ácido gama-aminobutírico (AGAB), que está presente em 25% a 40% de todas as sinapses.

As aminas biogênicas são vistas em quantidades menores quando comparadas com a anterior, porém várias destas possuem importante função neurotransmissora como a acetilcolina, que inibe os neurônios pós-sinápticos

dentro do SNC, mas é o intercessor excitatório mais relevante para a transmissão dos sinais neuronais às fibras musculares; a serotonina é responsável no SNC pela inibição da ira, agressão, temperatura corporal, humor, sono, apetite, dentre outras; a dopamina que está envolvida em várias funções no SN e particularmente no controle de movimentos, aprendizado, cognição e memória; e a noradrenalina é a mediadora do humor, ansiedade, sono e alimentação; junto com a serotonina.

O desempenho do cerebelo depende da integridade da sinapse das fibras de Purkinje de escalada, Streng; Popa; Ebner (2018), afirmam que o circuito celular Purkinje de fibra de escalada é um dos mais poderosos e altamente conservados no SNC. As fibras de escalada exercem uma poderosa ação excitatória que resulta em um pico complexo nas células de Purkinje, cuja a entrada dessas fibras controlam a codificação da informação comportamental, no disparo simples das células.

Para Machado e Haertel (2014), o cerebelo tem papel fundamental relacionado a postura, equilíbrio, coordenação dos movimentos dentre outras, porém, ele não se limita às funções motoras, e está envolvido em finalidades cognitivas também.

Uma característica do cerebelo é a capacidade de reparar e restaurar as funções perdidas, que são explicadas por uma abundante plasticidade sináptica e pela convergência de sinais centrais e periféricos multimodais, além das estruturas extras-cerebelares que contribuem para a recuperação de lesão do mesmo (MITOMA et al., 2018).

O cerebelo é responsável pelas adaptações do controle neuromotor diante das mudanças que ocorrem no meio ambiente, função esta que fica usualmente prejudicada em sujeitos com danos cerebelares, conforme afirmam Statton et al., (2017).

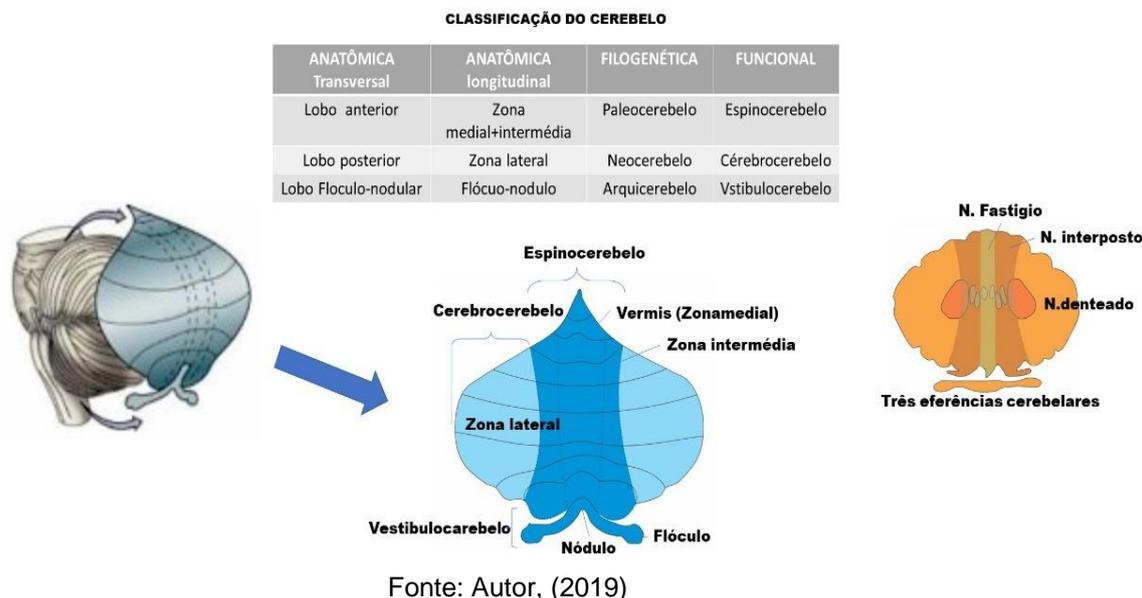
O cerebelo baseado em suas conexões do córtex com os núcleos centrais pode ser dividido em três partes segundo Machado e Haertel (2014):

a) vestibulocerebelo que compreende o lobo floculonodular e tem conexões com núcleo fastigial e os núcleos vestibulares;

b) espinocerebelo que compreende o vérmis e a zona intermédia dos hemisférios e tem conexões com a medula espinhal;

c) Cérebro-cerebelo que compreende a zona lateral e tem conexões com o córtex cerebral.

**Figura 2. Esquema da divisão funcional do cerebelo**



Segundo Machado e Haertel (2014), cada uma das partes citadas acima, possuem suas vias de conexões aferentes e eferentes, onde no vestibulocerebelo, as fibras aferentes chegam ao cérebro pelo fascículo vestibulocerebelar, tendo sua origem nos núcleos vestibulares que se distribuem ao lobo flocculonodular. Já as conexões eferentes quem projeta as informações para os neurônios dos núcleos vestibulares medial e lateral, são as células de Purkinje.

Para a parte do espinocerebelo, os responsáveis pelas vias aferentes, que penetram pelo cerebelo são os tratos espinocerebelar anterior e posterior. Nas vias eferentes os responsáveis são os axônios das células de Purkinje da zona medial, a partir da sinapse.

Na parte do cérebro cerebelo, as vias aferentes são transportadas pela via ponte-cerebelar, que penetra no cerebelo pelo pedúnculo médio e se distribui nos dois hemisférios laterais. Nas vias eferentes os percursores são os axônios das células de Purkinje da zona lateral do cerebelo.

O córtex cerebral é uma das partes mais importantes do SNC, pois é onde chegam os impulsos de todas as vias da sensibilidade, e onde saem os impulsos

nervosos que iniciam e comandam os movimentos voluntários (MACHADO e HAERTEL, 2014).

Segundo Latash (2015), o movimento é elaborado na via cérebro cerebelar, a partir de áreas do córtex cerebral ligadas às funções psíquicas superiores, associando os dados do plano motor do cerebelo com seus próprios dados, resultando em um plano motor comum, que é colocado em execução através de neurônios da área motora primária.

Uma das mais importantes vias neuronais que envolvem o controle neuromotor no processo de aprendizagem é a cerebelo-tálamo-cortical. Segundo Chabrol, Blot e Mrsic-Flogel (2018) o cerebelo dispara o impulso excitatório para o tálamo motor, que está envolvido na coordenação e no tempo das ações aprendidas. Estes autores ressaltam que a atividade neuronal preparatória preditiva de ações específicas, surge segundos antes do movimento e é mantida por um ciclo de retroalimentação positiva com o tálamo. No modelo Hebbiano considerado nessa pesquisa, esta via é a segunda mais importante no processo de aprendizagem, ficando atrás apenas da via cerebelar.

Entretanto, pesquisar estes comportamentos complexos não é tarefa simples, por isso, muitas vezes, pesquisadores optam por estudar aspectos pontuais desta complexidade na tentativa de elucidá-lo. Por exemplo, Peh, Chow, Davids (2011), mostram que o controle neuromotor apresenta determinadas questões não respondidas, como a problemática da focalidade: o foco do movimento (foco interno), ou o efeito do movimento (foco externo). Ao invés de comparar qual foco de atenção é mais efetivo, a análise é pontual, ou seja, aborda ambos os aspectos enquanto totalidade que são.

Brittain e Brown (2014), mostram que a variabilidade está presente o tempo todo no SNC, mostrando a importância da gânglia basal e sua relação com a atividade cortical, no trânsito das informações neuronais. É conhecida a importância da mesma no controle voluntário do movimento, desde a movimentação dos olhos, até movimentos amplos e complexos.

Dentro desse contexto, Hirschfeld (2007), em seu estudo de controle neuromotor e terapia física, procurou compreender o controle da coordenação entre postura e ações voluntárias que refletem na performance das tarefas motoras diárias no sujeito normal e com controle neuromotor debilitado (sujeitos com AVE e crianças com paralisia cerebral). Através de análises multifatoriais

em relação à cinemática, forças de reação do solo e padrões de ativação muscular, variáveis críticas de controle neuromotor para tarefas específicas são identificadas. Esta pesquisa esclareceu as diferenças dos padrões de ativação muscular e forças de reação do solo na reabilitação, baseado na hipótese de controle neuromotor.

Pesquisas sobre os substratos neurais relacionados a integração audiomotora, nas quais foram examinadas as atividades cerebrais, constatou-se que o córtex pré-motor e o plano temporal, são fundamentais para as ações motoras através do sistema auditivo (TACHIBANA, YANAGIDA, RIQUIMAROUX, 2010).

Flash e Sejnowski (2001) apresentaram novos conceitos e modelos computacionais para observações comportamentais e neurofisiológicas dos problemas de controle neuromotor. Nesses modelos eles incluem uma grande seleção de trajetórias para as possibilidades de solução da cinemática inversa e problemas dinâmicos. Pesquisas dessa natureza (modelamento neuronal), são importantes à medida que recorrem a diferentes métodos de modelamento de redes neurais artificiais.

Entretanto, os conceitos mais recentes sobre a neuroplasticidade e a aprendizagem motora, destacam que os estímulos de experiências sensoriomotoras e perceptuais, dependendo do meio em que o indivíduo está inserido, como mecanismos responsáveis pela constante reorganização estrutural e funcional do Sistema Nervoso Humano.

De acordo com Florindo e Pedro (2014) diz que:

“Conceitos recentes de neuroplasticidade e aprendizagem motora sugerem o estímulo de experiências sensoriomotoras e perceptuais, como mecanismos responsáveis pela constante reorganização estrutural e funcional do Sistema Nervoso”.

Neste contexto, podemos destacar alguns estudos que atestam a influência da neuroplasticidade no controle motor; Arazi, et al (2018), objetivou estabelecer o somatotipo, o perfil antropométrico e neuromotor de escaladores indoor da elite jovem de escaladores femininos, masculinos e recreativos. Para tanto, as medidas antropométricas foram coletadas conforme padronizações internacionais, a força e resistência dos membros superiores foram avaliadas por

teste isométrico. Força explosiva e equilíbrio foram avaliados pelos testes Sargent jump e Star Excursion Balance (SEBT), respectivamente. Os resultados deste estudo podem proporcionar uma melhor compreensão do desempenho sobre a escalada *indoor*, identificar um talentoso alpinista e, conseqüentemente ajudará os treinadores a planejar programas de treinamento eficientes.

No estudo de Barcelos et al (2018), sobre a análise do equilíbrio postural e força muscular isocinética de joelho em atletas de futsal feminino, que teve como objetivo analisar o equilíbrio postural e a força muscular isocinética do joelho em atletas amadoras de futsal feminino. Desta forma, foram avaliadas 12 atletas ( $22,07 \pm 3,61$  anos), para verificar se existe associação entre essas variáveis. Mediu-se a força muscular com um dinamômetro isocinético, e o equilíbrio, por meio da posturografia com testes de organização sensorial (TOS), de controle motor e unilateral. As atletas mostraram maior dependência visual para manter o equilíbrio, percebida nas condições do teste unilateral com restrição visual, possivelmente, essa situação indica que o sistema somatossensorial e/ou vestibular das atletas foi afetado por fatores associados ao treinamento físico e à participação em competições. Tal estudo é relevante no escopo da presente pesquisa, uma vez que, o cerebelo assume papel de alta relevância na postura e na manutenção do equilíbrio.

No estudo de Alves et al (2018), tiveram como foco o controle postural como um fator determinante para execução de gestos funcionais e desempenho motor com o objetivo de investigar o controle postural durante a tarefa controlada do chute futebolístico por meio de um sistema de análise biomecânica. A amostra contou com 11 atletas profissionais do sexo masculino, com média de idade de 22 anos. Os atletas realizaram vinte e cinco chutes de precisão em direção ao alvo, com a bola em movimento vertical lançada por meio de um dispositivo manual sincronizado com as medidas biomecânicas computadas. O resultado do controle postural dentro da ação motora, em geral, a média dos dados descritivos do controle postural, através dos parâmetros do COP, foi elevado quando comparado aos dados de COP durante protocolos tradicionais de equilíbrio na literatura, denotando o grau de complexidade da ação motora investigada, mais uma evidência da neuroplasticidade que está sempre presente no controle neuromotor.

A partir deste ponto, se faz necessária uma breve revisão sobre pesquisas

que estudaram a neuroplasticidade e o controle neuromotor subjacente em tarefas manipulativas.

Um dos parâmetros biomecânicos mais relevantes para o controle neuromotor de tarefas manipulativas é a capacidade de produção de forças nos dedos. Com o passar do tempo, os sujeitos apresentam mudanças nas mãos relacionadas ao sistema neuromuscular, devido à queda de força e coordenação dos dedos. Através desta queda de força, pode tornar a ação realizada com as mãos aprendida ao longo da vida, abaixo do ideal (LATASH; SCHOLZ e SCHONER, 2007).

Segundo Latash; Scholz e Schoner (2007) e Latash (2015), essa perda de força ocorre simultaneamente em todos os dedos das mãos, impactando no nível de organização do controle neuromotor dos dedos, tal fato é atestado pela complexidade anatômica da mão, composta por 27 ossos e vários músculos (intrínsecos e extrínsecos), ligamentos e inervações oriundas de diferentes ramos nervosos da medula.

Flament et al. (1996), utilizaram ressonância magnética funcional para verificar alterações na ativação do cerebelo, propuseram duas tarefas a serem executadas com um controle de vídeo game, para sobrepor o cursor em alvos visuais. No primeiro, o movimento do controle e o cursor foram invertidos, exigindo uma aprendizagem de transformação visuomotora para otimizar o desempenho; e a segunda tarefa, o controle e o cursor foram alterados aleatoriamente para cada tentativa. A ativação no cerebelo foi maior durante as fases iniciais da tarefa um e dois. Na tarefa um, o desempenho foi considerado insatisfatório nos estágios iniciais e com a prática foi melhorando o nível de proficiência em relação a tarefa padrão (consolidação da aprendizagem). Já no segundo momento, em função da aleatoriedade o desempenho foi também insatisfatório, e mesmo com a prática não se obteve melhora.

Tais resultados corroboraram a hipótese de que o cerebelo é fortemente ativado quando o desempenho motor é impreciso, onde o mesmo detecta e corrige os erros visuomotores. Este estudo está em concordância com a presente pesquisa, pois a tarefa solicitada na mesma é de característica visuomotora, quando espera-se uma intensa atividade cerebelar antes da consolidação da aprendizagem da mesma.

Ao pesquisarem o efeito da estimulação transcraniana de corrente

alternada (TAC), com diferentes frequências na atividade cerebelar e seus impactos na excitabilidade da perna e no controle neuromotor da marcha em indivíduos saudáveis, Naro et al. (2017), concluíram que a TAC é uma ferramenta útil na reabilitação de pessoas com comprometimento da marcha, relacionada ao cerebelo. Mais uma vez, destaca-se o papel da atividade cerebelar no controle de atividades neuromotoras.

Peterburs et al. (2018), investigaram se o cerebelo processa o feedback de maneira diferenciada, quando há mudanças na estratégia de resposta durante a aprendizagem. Constataram aumento na ativação dos lobos VI e VII do cerebelo, por feedback negativo. O recrutamento de regiões posteriores na aprendizagem por feedback negativo está de acordo com a topografia funcional do cerebelo, com regiões posteriores envolvidas em funções motoras e cognitivas complexas, portanto, atestando a relevância dos diferentes tipos de feedbacks.

Habilidades visuoespaciais comprometidas, podem impedir as atividades da vida diária. O cerebelo tem sido engajado no processamento visoespacial, e os pacientes com lesão do mesmo, frequentemente exibem pouca habilidade visoespacial, Slapik et al. (2018), utilizaram uma mesa digitalizadora para avaliar 49 pacientes com ataxia cerebelar e 60 pessoas saudáveis, na execução de uma tarefa manipulativa visuomotora; concluíram que os pacientes exibiam comprometimentos de organização visoespacial na ausência da lembrança da mesma.

Lokesh e Ranganathan (2019) estudaram 36 adultos saudáveis, universitários com faixa etária entre 20-24 anos, sendo 20 mulheres e 16 homens, onde os participantes utilizaram um aparelho de manipulação bimanual, ao qual ficavam sentados em um banco de 45°, onde receberam a informação visual na tela, que parecia estar localizada nas mãos. Os participantes controlavam o cursor, e tinham que controlar uma trilha em formato de W, onde o objetivo era fazer o percurso o mais rápido possível dentro da faixa demarcada. Os resultados mostraram que o tempo de movimento dependeu da dificuldade da tarefa, mas todos conseguiram diminuir o tempo de movimento com a prática. A aprendizagem foi associada com uma redução na variedade do espaço nulo, mas, criticamente, não houve efeito da dificuldade da tarefa. Análises posteriores mostraram que, embora a variabilidade do espaço de

tarefas tenha mostrado uma troca de velocidade e precisão esperada com o tempo de movimento, a variabilidade espacial nula mostrou um padrão qualitativamente diferente. Estes resultados sugerem um controle diferencial da tarefa e a variedade do espaço nulo em resposta a mudanças na dificuldade da tarefa com a aprendizagem, e podem refletir uma forte preferência para minimizar a variabilidade global do movimento durante a aprendizagem.

No estudo de Patel, Zablocki e Lodha (2019) investigaram se o desempenho de tarefas e coordenação bimanual diferem entre aumento de força e diminuição de força, e determina a contribuição da coordenação de ambas as mãos para o desempenho de tarefas durante o aumento de força e diminuição de força. Para o estudo, foram utilizados dezessete adultos saudáveis com idade média de 24 anos, que tinham como tarefa combinar a força alvo com a força total, ou seja, soma de forças produzidas por ambas as mãos com a maior precisão possível. Como resultado foram encontrados acurácia diminuída e aumento da variabilidade da força total em decréscimo em comparação com a fase de aumento. Além disso, o coeficiente de correlação cruzada e a amplitude de coerência foram maiores durante o decréscimo de força do que a fase de incremento de força. Pode-se concluir que o desempenho da tarefa é reduzido durante o decréscimo da força em comparação com o incremento de força, sugerindo que a liberação de força é mais desafiadora do que a geração de força em tarefas bimanuais. Além disso, o acoplamento bimanual das forças foi melhor durante a diminuição de força do que o aumento de força. No geral, a coordenação de forças de ambas as mãos influencia o desempenho da tarefa nas fases combinadas de incremento e decremento. Especificamente, o desacoplamento de forças produzidas pelas duas mãos facilita a estratégia de compensação de erros para atingir o objetivo da tarefa. Juntos, esses resultados destacam que o controle bimanual de forças é dependente de tarefas e enfatizam a importância da colaboração entre as mãos para alcançar um objetivo de tarefa comum. Esses resultados podem ter implicações para o entendimento de mudanças no controle bimanual com o envelhecimento e distúrbios neurológicos.

No trabalho de Sarasso et. al. (2018), foram estudados trinta e nove indivíduos saudáveis, onde foram divididos em dois grupos, o experimental que foi submetido a treinamento de diferenças somatossensorial consistindo de

diferenças de distância, forma e superfície; já o grupo controle realizou uma manipulação simples de objetos. No início e após 2 semanas de treinamento, os indivíduos foram submetidos a avaliações sensório-motoras e ressonância magnética funcional, consistindo de estimulação tátil à direita, manipulação de um objeto simples, e execução complexa da sequência motora à direita. A destreza da mão direita melhorou em ambos os grupos, mas apenas o grupo experimental mostrou melhorias em todos os testes de destreza manual. Após o treinamento, o grupo experimental mostrou: diminuição da ativação das áreas sensoriomotoras ipsilaterais durante a tarefa de estimulação tátil. Isto corrobora o papel das vias cerebelares envolvidas no processo de aprendizagem motora.

Em concordância com os objetivos e possíveis aplicações do presente estudo, será realizada no próximo item, uma breve revisão sobre a neuroplasticidade, especificamente referentes a lesões cerebrais e cerebelares.

### **2.3 – Neuroplasticidade: lesões cerebrais e cerebelares**

Uma lesão do cerebelo tem como sintomas a perda da coordenação muscular, o que significa que os movimentos voluntários não são realizados com êxito, em função da diminuição da capacidade do SNC, especialmente do córtex motor cerebral e do cerebelo, em realizar o controle neuromotor dos graus de liberdade e da parametrização de variáveis físicas do movimento executado, tais como, força, velocidade, aceleração, pressão, dentre outras.

Gravenhorst e Walter (2009), pesquisaram o controle neuromotor de sujeitos com Acidente Vascular Encefálico (AVE) e comparando-os com sujeitos saudáveis. As tarefas eram fornecidas através de feedback visual de diferentes formas e letras, as quais tinham que serem escritas pelos sujeitos com a mão direita em uma lousa, para posterior relato de percepção em relação ao tipo de movimento executado (forma ou letra). Os sujeitos com AVE apresentaram aumento de erro temporal, que se opõem ao padrão habitual dos sujeitos na formação de letras. Tal estudo demonstra uma perturbação na neuroplasticidade do SNC para tarefas manipulativas.

Holtrop (2014), analisou o desenvolvimento da hipertrofia em flexores do cotovelo paralisado, e explorou o controle neuromotor do braço de um grupo nos

primeiros seis meses pós AVE. Foram avaliados 50 pacientes com AVE e paralisia inicial, onde não foi aplicada nenhuma intervenção, porém eram avaliadas nas primeiras 48 horas, de 10 a 12 dias e 3 a 6 meses pós o AVE. Como resultados, verificaram que o controle motor do braço nas primeiras 48 horas foi 13 vezes mais provável de desenvolver a hipertrofia do que os 6 primeiros meses.

Meehan (2011), investigou as contribuições da contra lesão do córtex somatosensorio para déficit de aprendizagem motora após AVE. Por três dias foi entregue tarefas para o hemisfério contra lesionado, com mudanças de habilidades motoras. Como resultado, pode se notar um benefício para aspectos motores diferentes após AVE, podendo diferenciar o impacto da reabilitação.

Kopp, Beckung, Gillberg (2010), estudaram o efeito das habilidades na vida diária, no que diz respeito ao desenvolvimento de coordenação e outras dificuldades de controle neuromotor, em 131 meninas com idade escolar, contendo autismo e hiperatividade/déficit de atenção. Todas passaram por um exame neuropsiquiátrico completo, incluindo a avaliação por entrevista com cada criança e os pais responderam um questionário. A partir dos relatos dos pais e os resultados dos testes, constataram problemas de controle neuromotor, que contribuem para uma redução das atividades no dia a dia.

Shih (2012), estudou dois indivíduos, um de dezesseis anos e outro de dezessete anos, ambos com deficiências múltiplas relacionadas com a paralisia cerebral, onde um software chamado *Dynamic Drag-and-Drop Assistive Program* (DDnDAP), pode melhorar sua competência nas atividades diárias, no arrastar e soltar com as mãos, e essas habilidades adquiridas durante a fase de manutenção se mantiveram.

Marques, Castro e Lima (2014), avaliaram seis crianças entre 12 a 18 meses de idade, com diagnóstico de Síndrome de Down, que tiveram como tarefa aprender e manusear quatro bolas de isopor, quatro cubos de espuma e quatro cubos de madeira, de tamanhos diferentes, nas dimensões de 35 mm, 50 mm, 75 mm, 100 mm. Como resultado as crianças com Down tiveram maior dificuldade com os materiais de porte médio e grande. Concluíram que o padrão de preensão dessas crianças, apresenta influência da restrição da tarefa, sendo fruto da integração entre organismo, tarefa e ambiente.

Estudo de Kordelaar, Wegen, Kwakkel (2014), é relativo à precisão dos

movimentos de membros superiores nos seis primeiros meses após um AVE. O grupo foi composto por 44 pessoas, sendo 19 mulheres e 25 homens que foram avaliados pela análise cinemática tridimensional nas semanas 1,2,3,4,5,8,12 e 25 após o AVE. Foram adquiridos dados relativos a trajetória da mão e dedos para uma tarefa de agarrar um objeto. Os autores concluíram que durante o processo de reabilitação ocorre uma significativa melhora do controle neuromotor, nas primeiras 8 semanas após o AVE.

Weeks, Therrien e Bastian (2017), utilizaram um braço robótico para comparar a capacidade proprioceptiva das mãos no espaço, na ausência da informação visuomotora, entre pacientes com danos cerebelares e sujeitos saudáveis. Concluíram que o treinamento com o exoesqueleto auxilia os pacientes a melhorarem sua propriocepção das mãos em situações mono e biarticulares. Tal estudo evidencia que a realização do gesto motor, independentemente do feedback visual, contribui com a capacidade proprioceptiva de portadores de lesões cerebelares.

Ao pesquisarem o controle neuromotor cuja tarefa manipulativa era atingir um alvo em uma mesa digitalizadora, Butcher et al. (2017), recorreram a dois grupos (pessoas saudáveis e pacientes com ataxia espinocerebelar). Em um determinado momento das tarefas, a visão era ocluída. Concluíram que a disfunção cerebelar não é apenas a aprendizagem baseada em erros de previsão sensorial, mas também, em desenvolver uma solução de direcionamento diante de uma perturbação visuomotora. Este estudo apresenta elevada similaridade com a presente pesquisa, dado que recorre ao uso de uma mesa digitalizadora e uma tarefa visuomotora.

No estudo de Clemente et al (2019) relata que o feedback sensorial da força de preensão (GF) melhora o controle sensório-motor de um amputado que controla uma prótese mioelétrica. Realizou um estudo longitudinal testando um único sujeito, que passou por um teste de copos empilháveis, realizado durante duas semanas, e teve como objetivo medir a capacidade do indivíduo de regular com melhor precisão o movimento, utilizando a prótese. Um teste de levantamento realizado no final do estudo, mediu o nível de coordenação motora e se o sujeito transferiu as habilidades motoras aprendidas para uma tarefa qualquer. Os resultados mostram que o feedback sensorial aumenta a habilidade do indivíduo em regular a força de pressão e permite um melhor desempenho ao

longo do tempo. Além disso, demonstrou que o sujeito conseguiu generalizar e transferir suas habilidades de manipulação para uma tarefa desconhecida e melhorar sua coordenação motora. Concluíram que o feedback sensorial detém o potencial de restaurar o feedback tátil funcionalmente eficaz. Isso abre novas possibilidades para melhorar a qualidade de vida dos amputados usando uma prótese neural.

A seguir será apresentado o modelo Hebb - Albus - Marr utilizado como simulação matemático para as três principais vias cerebelares, decisivas no processo de aprendizagem motora e controle neuromotor do movimento voluntário, a saber: 1) cerebelar; 2) cérebro - cerebelar; 3) cérebro - talamo - cortical.

#### **2.4 - O modelo Hebb – Albus - Marr e avaliação da atividade cerebelar**

Segundo Vilela Junior (2018) a “Teoria de Aprendizagem Neuromotora de Hebb (1949) é a base metodológica de parte do presente estudo. Não é objetivo do mesmo um aprofundamento mais robusto sobre esta especificidade que, *per si*, é bastante complexa e pressupõe um razoável conhecimento de matemática, neurociência e computação. Tal modelo foi posteriormente aprimorado por Albus e Marr. ”

Vilela Junior (2018) ressalta que no modelamento neuronal “cada sinapse é caracterizada por um único parâmetro constante  $w_{ij}$  que determina a amplitude da resposta pós-sináptica a um potencial de ação de entrada. Dados experimentais mostram que a amplitude da resposta pode ser alterada, mudando com o tempo. Padrões de estimulação adequados podem sistematicamente induzir a ocorrência de alterações na resposta pós-sináptica que permanece por horas ou até mesmo dias. Se o padrão de estimulação leva a um aumento persistente da eficácia da transmissão sináptica, o efeito é chamado de **Potenciação de Sinapses a Longo Prazo (LTP)**. Opostamente, se o resultado for um decréscimo da eficácia sináptica, é chamado de **Depressão a Longo Prazo (LTD)**. Vários autores como Hebb, (1949); Abbott, (1991); Abbott e Blum, (1996); Daniel et al., (1996); Chow e Kopell, (2000); Bethge et al., (2001); Bi e Poo, (2001); Eggert e Van Hemmen, (2001); Ermentrout et al., (2001); e Golomb

e Ermentrout, (2001), afirmam que essas mudanças persistentes sejam o correlato neuronal da '**aprendizagem**' e da '**memória**'

Vilela Junior (2018) ressalta que das redes neurais, o peso  $w_{ij}$  de uma conexão do neurônio  $j$  para o neurônio  $i$  é considerado como um parâmetro que pode ser ajustado de forma a otimizar o desempenho de uma rede para uma dada tarefa (ver equação 01).

$$\frac{d}{dt}w_{ij} = F(w_{ij}; v_i, v_j) \quad (\text{equação 01})$$

Nesta equação 01, a derivada dos pesos ( $w_{ij}$ ) em função do tempo informa a máxima potenciação ocorrida no neurônio, entretanto, fatores inibitórios podem ocorrer e se faz necessário considerá-lo na simulação neuronal. A equação 02 mostra tanto a potenciação quanto à depressão sináptica, uma vez que para ocorrer a potenciação máxima em uma fenda sináptica outras foram inibidas.

$$\frac{d}{dt}w_{ij} = \gamma^2(1 - w_{ij})v_i v_j - \gamma_0 w_{ij} \quad (\text{equação 02})$$

Na equação 02,  $\gamma$  é uma pequena constante positiva que descreve a taxa pela qual o peso  $w_{ij}$  decai de volta a zero na ausência de estimulação. Por sua vez  $v$  são funções específicas para o processamento de cada neurônio. Os fatores  $(1 - w_{ij})$  e  $w_{ij}$  que levam a uma saturação em  $w_{ij} = 1$  para estimulação continuada e um decaimento exponencial para  $w_{ij} = 0$  na ausência de estimulação, respectivamente, são uma possibilidade para implementar limites suaves para o peso sináptico.

Os limites frequentemente utilizados para restringir os pesos sinápticos a um intervalo finito, ou seja, uma regra de aprendizagem com parâmetros independentes do peso, apenas é aplicada desde que o peso permaneça dentro dos seus limites. Outro aspecto interessante das regras de aprendizagem é a **concorrência** (ITO, 1984; KEMPTER et al., 2001; MEYER e VAN VREESWIJK, 2001; KISTLER e DE ZEEUW, 2002). Nesta os pesos sinápticos só podem crescer à custa dos outros, de modo que, se um certo subgrupo de sinapses for fortalecido, outras sinapses para o mesmo neurônio pós-sináptico devem ser enfraquecidas (HANSEL E MATO, 2001).

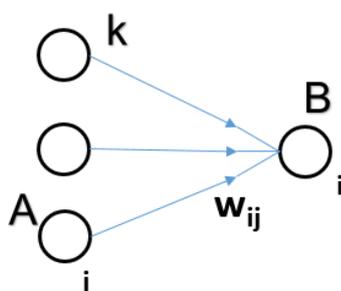
Esta formulação é suficientemente geral para permitir uma combinação

de potencialização sináptica e depressão. Usualmente esta equação é chamada de **regra de aprendizado**, sendo considerado consenso pelos autores supracitados.

O processo de adaptação de parâmetros é chamado de **aprendizado** e o procedimento para ajustar os pesos é chamado de **regra de aprendizado**. Aqui a aprendizagem é entendida no seu sentido mais amplo, podendo se referir a mudanças sinápticas durante o desenvolvimento tão bem quanto às mudanças específicas necessárias para memorizar um padrão visual ou aprender uma tarefa motora. Vilela Junior (2018) destaca que existem muitas regras de aprendizado diferentes que não foram abordadas; neste estudo foi considerado o conjunto mais simples de regras, a saber, as mudanças sinápticas que são impulsionadas pela atividade correlacionada dos neurônios pré e pós-sinápticos. Essa classe de regra de aprendizado pode ser motivada pelo princípio de Hebb e, portanto, é frequentemente chamada de "aprendizado Hebbiano".

Um aspecto importante no modelo Hebb – Albus – Marr (**HAM**) segundo Vilela Junior (2018) é a chamada plasticidade sináptica que nos últimos 40 anos de pesquisa construiu conhecimento científico sólido a partir do postulado de Hebb (1949) que descreve como a conexão do neurônio pré-sináptico **A** a um pós-sináptico neurônio **B** que deve ser modificado. Neste, um axônio da célula **A** está próximo o suficiente para excitar a célula **B** desencadeando um processo de crescimento ou alteração metabólica que ocorre em uma ou ambas as células.

**Figura 3. A mudança na sinapse  $w_{ij}$  depende do estado do neurônio pré-sináptico  $j$  e o neurônio pós-sináptico  $i$  e a presente eficácia  $w_{ij}$ , mas não do estado de outros neurônios  $k$ .**



Fonte: Autor, (2019)

Para Vilela Junior (2018) aprender através de correlações é também conhecido como *aprendizado hebbiano*, onde mudanças duradouras de eficácias sinápticas foram encontradas experimentalmente podendo ser induzidas pela atividade conjunta do neurônio pré-sináptico e pós-sináptico e lembram o mecanismo proposto por Hebb. O paradigma básico da indução de LTP pode ser sinteticamente associado com um neurônio por um eletrodo intracelular para registrar o potencial de membrana, enquanto as fibras pré-sinápticas são estimuladas por meios de um segundo eletrodo extracelular. Pequenos pulsos são aplicados às fibras pré-sinápticas para medir a força da resposta pós-sináptica. A amplitude do pulso de teste é escolhida de modo que a estimulação evoque um potencial pós-sináptico, mas nenhum potencial de ação.

De acordo com Vilela Junior (2018) Hebb percebeu que este mecanismo ajudaria a estabilizar os padrões específicos de atividade neuronal no cérebro, os padrões de atividade neuronal correspondem ao comportamento, depois a estabilização de padrões implica a aprendizagem de tipos específicos de comportamentos (HEBB, 1949).

Há dois aspectos no modelo **HAM** que são particularmente importantes, são eles: **localidade** e **cooperatividade**.

**Localidade** significa que a mudança da eficácia sináptica só pode depender de variáveis locais, isto é, da informação disponível no local da sinapse, como a taxa de disparo pré e pós-sináptico, e o valor real da eficácia sináptica, mas não na atividade de outros neurônios. Com base na localidade da plasticidade Hebbiana (HEBB, 1949), pode-se fazer uma conjectura bastante geral para a mudança da eficácia sináptica descrita pela equação 02 (pag. 26)

**Cooperatividade** por sua vez, se refere a influência que um neurônio exerce sobre outros em uma rede hiperconectada, podendo apresentar pesos positivos e negativos neste processo característico da neuroplasticidade.

A competição é essencial para qualquer forma de auto-organização e formação de padrões. Segundo Rao, Sejnowski (2001) a competição pode ser implementada em simulações através da normalização da soma de todos os pesos que convergem para o mesmo neurônio pós-sináptico. Embora isso possa ser motivado por uma limitação de recursos sinápticos comuns, tal regra de aprendizado viola a localidade da plasticidade sináptica. Por outro lado, a

competição de mudanças no peso sináptico também pode ser obtida com regras de aprendizagem puramente locais (VAN ROSSUM et al., 2000 ; XIE e SEUNG, 2000).

A partir deste modelo foi realizada regressão múltipla dos dados obtidos para obtenção das curvas de aprendizagem de um grupo de sujeitos sem neuropatias, durante a execução da tarefa proposta: escrever o *kanji Nô* da língua japonesa.

### **3 - Materiais e Métodos**

#### **3.1 - Casuística**

Esta pesquisa caracteriza-se por um estudo exploratório de análise quanti-qualitativa a partir da criação e validação de um Software intitulado PAN, capaz de avaliar a eficiência e funcionalidade do Controle Neuromotor de uma tarefa manipulativa.

#### **3.2 - Amostra**

A amostra não probabilística, intencional e de conveniência, segundo classificação proposta por Lakatos e Marconi (2005), foi composta por 30 sujeitos de ambos os sexos com idade entre 18 e 67 anos, todos destros, sendo 15 para o grupo controle (GC) e 15 para o grupo experimental (GE). Para chegar neste número de sujeitos foi utilizado o software *Sample Size Calculator*. O tamanho do efeito foi calculado através da fórmula de Cohen (1990).

#### **3.3 - Critérios de inclusão**

Não possuir lesão neurológica ou limitação de movimento de membros superiores que pudessem impedir a realização das tarefas manipulativas com ambas as mãos e que os sujeitos fossem destros.

#### **3.4 - Aspectos éticos**

A presente pesquisa foi submetida e aprovada no Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Metodista de Piracicaba sob o protocolo 109/2015, e os sujeitos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

Como forma de proteção do anonimato o software não possui nenhuma forma de identificação do avaliado, preservando sua identidade.

### **3.5 - Eventuais riscos**

Os riscos, apesar de remotos, existem para os sujeitos desta pesquisa, entretanto, o pesquisador se compromete a reparar danos, desconfortos e constrangimentos, através de um acolhimento ético e humanístico.

### **3.6 - Instrumento**

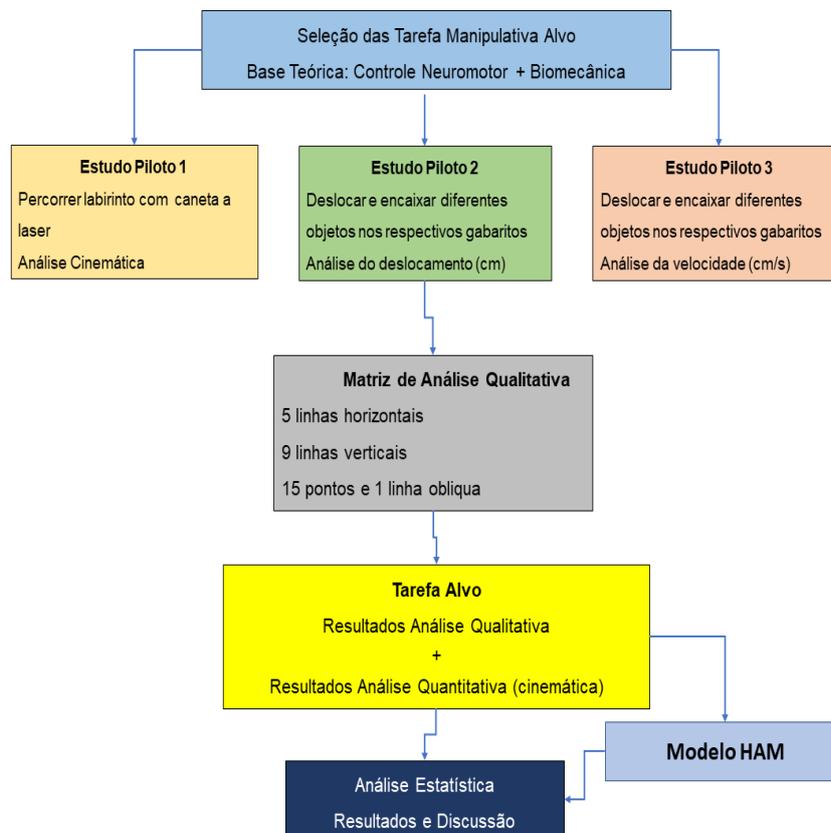
Construção de um Software (PAN)<sup>®</sup> baseado na Web por meio de uma cloud solution. O mesmo, foi desenvolvido na linguagem *Java*, *HTML5* e/ou *CSS3* para fornecer a facilidade de interação com o aplicativo dentro de um navegador da Web, ou seja, sociabilizando o instrumento de forma ampla e sustentável, pois sua distribuição será difundida de maneira virtual em nuvem, não dependendo de logística e qualquer outro meio físico.

Por ser um aplicativo universal, não ficará restrito a Sistemas Operacionais tais como: *Android - Google*, *IOS - Apple*, *Windows Mobile*.

### **3.7 - Procedimentos**

A figura 4 mostra as etapas desta pesquisa, evidenciando os estudos piloto que foram realizados na depuração metodológica do mesmo, cujos resultados delinearam a complexidade necessária para a tarefa alvo.

**Figura 4 - Fluxograma das etapas da pesquisa.**



Fonte: Autor, (2019)

### **3.7.1 – Pesquisa piloto 1: Análise cinemática da variabilidade do controle neuromotor de mulheres em uma tarefa manipulativa.**

Estudo que teve como objetivo, mensurar as variáveis cinemáticas, posição e velocidade durante a execução da tarefa manipulativa realizada por cinco mulheres com idade de 18 a 30 anos, sem lesão neurológica ou limitação de movimento de membros superiores, que pudessem impedir a realização das mesmas. A tarefa consistia em percorrer um labirinto com uma caneta a laser sobre o tampo de uma mesa transparente, a mesma foi filmada com uma câmera da marca Go Pro Hero Black 3+, com taxa de aquisição 30 hertz, situada sob a mesa, conforme ilustra a figura 5.

**Figura 5 - Imagem do sujeito percorrendo o labirinto com a caneta laser.**



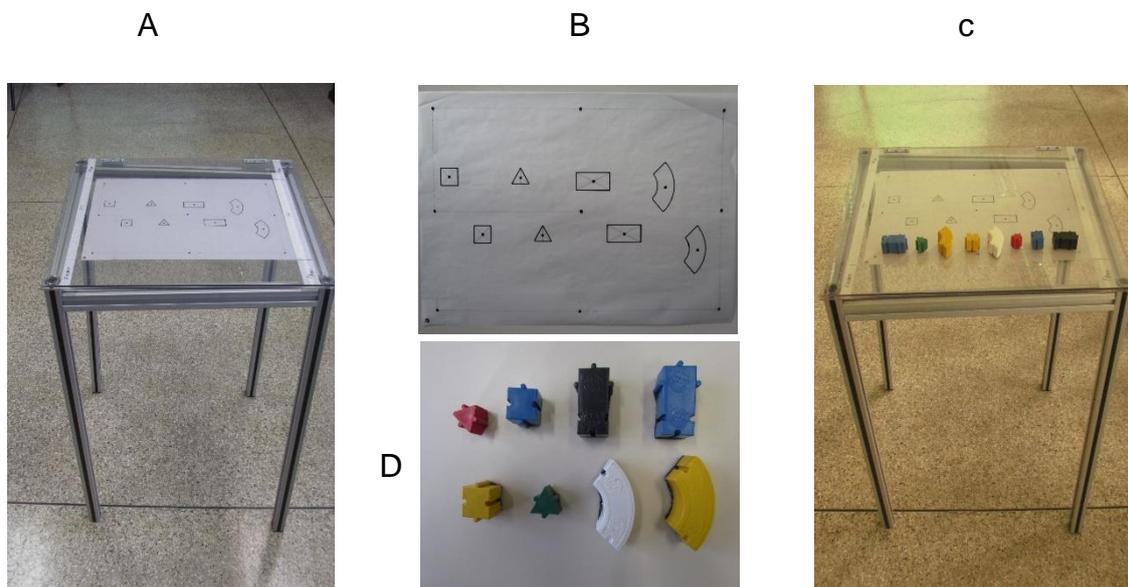
Fonte: Autor, (2019)

Os dados foram digitalizados no Skillspector e tratados no software Origin 9.0 com filtro FFT (Fast Fourier Transform) de 7ª ordem. Os resultados apresentaram deslocamento médio de 23,82 (+/- 0,27) cm e velocidade média de 5,31 (+/- 3,11)cm/s. Concluiu-se que a habilidade das mesmas na tarefa percorrer um labirinto, foi satisfatória, corroborando estudos de Manoel e Basso (2005); Freudenheim (2006), uma vez que esta faz parte do repertório motor cotidiano das voluntárias. Este estudo piloto foi apresentado no 11º Congresso de Educação Física de Jundiaí/2016, tendo oferecido evidências metodológicas importantes para a definição da tarefa alvo, escrita do *kanji Nô*.

### **3.7.2 - Pesquisa piloto 2: Avaliação de tarefas manipulativas em diferentes contextos.**

Teve como objetivo depurar os métodos de aquisição de dados, tanto sobre o ponto de vista de software quanto de hardware. Para isso, foi construída uma mesa de tampo duplo articulado de policarbonato, para que entre estes pudesse ser colocado um gabarito contendo desenhos geométricos, para a realização de tarefas manipulativas, com ambas as mãos. Para a realização das tarefas, foram colocadas 8 peças de material plástico (tamanho médio de 4cm) com os formatos de: retângulo, quadrado, triângulo e meia lua, conforme mostra a figura 6.

**Figura 6 - Imagens da mesa de policarbonato (A), do gabarito com a silhuetas das peças (B), as peças sobre a mesa (C) e as peças (D).**



Fonte: Autor, (2019)

A tarefa foi solicitada a 1 sujeito do sexo feminino com idade de 22 anos, sem lesão neurológica ou limitação de movimento de membros superiores, que pudessem impedir a realização das mesmas. Foi solicitado arrastar cada uma das peças em uma determinada sequência até a sua posição equivalente no gabarito sobre a mesa. A aquisição destes dados foi realizada através de uma filmadora da marca Go Pro Hero Black 3+, com taxa de aquisição 30 hertz que foram digitalizados no software Skillspector e posteriormente tratados com filtro FFT (Fast Fourier Transform) de 7 hertz para determinação da posição durante a execução das tarefas. Os resultados do módulo do vetor posição foram comparados na seguinte ordem de peças, cuja estatística descritiva é reportada na tabela 1.

**Tabela 1 - Estatística descritiva das tarefas de deslocar objetos sobre a mesa até o respectivo gabarito**

Objeto	Mão	Mediana (cm)	Intervalo de Confiança
Retângulo 1	Direita	16,09	15,96 ; 17,76
	Esquerda	17,1	17,38 ; 18,56
Quadrado 1	Direita	18,78	18,07 ; 19,81
	Esquerda	21,12	19,16 ; 21,34
Triângulo 1	Direita	17,73	17,57 ; 18,48
	Esquerda	18,15	17,83 ; 18,80
Meia-lua 1	Direita	13,8	13,77 ; 15,56
	Esquerda	14,11	13,99 ; 15,59
Retângulo 2	Direita	14,82	13,16 ; 14,91
	Esquerda	11,71	10,79 ; 13,32
Quadrado 2	Direita	15,51	13,55 ; 15,98
	Esquerda	17,21	13,23 ; 17,02
Triângulo 2	Direita	13,94	13,07 ; 15,16
	Esquerda	12,99	13,18 ; 14,25
Meia-lua 2	Direita	12,72	12,43 ; 15,72
	Esquerda	13,05	12,86 ; 14,63

Fonte: Autor, (2019)

Foram realizados os testes de concordância de Wilcoxon e Kendal para os dados obtidos nas tarefas realizadas como a mão direita e esquerda e não foram encontradas diferenças significantes em nenhuma situação. Tal fato pode ser consequência do nível baixo de dificuldade das tarefas, uma vez que as mesmas fazem parte do repertório cotidiano de tarefas manipulativas das pessoas. São necessários estudos futuros sobre tarefas manipulativas com número amostral maior e tarefas manipulativas de maior complexidade. Este piloto foi submetido e aprovado no 16º Congresso Científico de Pós-Graduação da Unimep; a relevância do mesmo, no delineamento da pesquisa final, refere-

se à compreensão de que apenas a variável cinemática posição não era suficiente para os objetivos da mesma (pesquisa final).

### **3.7.3 – Pesquisa piloto 3: Determinação da velocidade de execução de diferentes tarefas manipulativas.**

O objetivo deste estudo foi calcular a velocidade de execução de algumas tarefas manipulativas cotidianas. A tarefa foi solicitada a 1 sujeito do sexo feminino com idade de 22 anos, sem lesão neurológica ou limitação de movimento de membros superiores, que pudessem impedir a realização das mesmas. Foi solicitado arrastar cada uma das peças em uma determinada sequência, até a sua posição equivalente no gabarito sobre a mesa. A aquisição destes dados foi realizada através de uma filmadora da marca Go Pro Hero Black 3+, com taxa de aquisição 30 hertz que foram digitalizados no software Skillspector e posteriormente tratados com filtro *Fast Fourier Transform* (FFT) com frequência de corte de 7 hertz para determinação da posição durante a execução das tarefas. A velocidade em cada tarefa foi medida em cm/s. Os resultados da velocidade foram comparados na seguinte ordem de peças, cuja estatística descritiva é reportada na tabela 2.

**Tabela 2 - Estatística descritiva da velocidade média de deslocar objetos sobre a mesa até o respectivo gabarito**

Objeto	Mão	Mediana (cm/s)	Intervalo de Confiança
Retângulo 1	Direita	-4,56	-5,22 ; -1,61
	Esquerda	-3,08	-5,35 ; 1,20
Quadrado 1	Direita	7,41	1,32 ; 9,89
	Esquerda	9,49	3,40 ; 10,70
Triângulo 1	Direita	2,96	1,63 ; 4,34
	Esquerda	4,91	-8,03 ; 14,75
Meia-lua 1	Direita	-6,86	-7,33 ; 1,81
	Esquerda	-6,56	-6,66 ; 1,18
Retângulo 2	Direita	8,44	0,05 ; 9,25
	Esquerda	9,75	-14,32 ; 29,09
Quadrado 2	Direita	6,82	3,42 ; 8,22
	Esquerda	14,57	2,20 ; 18,74
Triângulo 2	Direita	15,57	-20,69 ; 44,15
	Esquerda	4,01	0,39 ; 6,80
Meia-lua 2	Direita	-2,30	-6,30 ; 0,23
	Esquerda	-3,63	-5,53 ; 0,00

Fonte: Autor, (2019)

Os testes de Wilcoxon e Kendal (estes testes foram realizados no software Origin 9.0) foram utilizados para comparar a velocidade nas diferentes tarefas entre ambas às mãos. Não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes em nenhum dos testes aplicados; é provável que uma amostra maior e tarefas mais complexas consigam identificar diferenças no controle neuromotor para as tarefas manipulativas. Este piloto foi submetido e aprovado no 16º Congresso Científico de Pós-Graduação da Unimep; a relevância do mesmo, no delineamento da pesquisa final, refere-se à constatação da necessidade de que a variável cinemática velocidade, junto com a posição na tarefa manipulativa eram cruciais para a pesquisa final.

### 3.7.4 – Pesquisa final: Avaliação qualitativa e quantitativa da tarefa manipulativa escrever um *Kanji* do alfabeto japonês.

O objetivo dessa fase da pesquisa foi validar um protocolo de Avaliação Qualitativa de uma tarefa manipulativa, a saber: escrever um Kanji do alfabeto japonês denominado **NÔ**, o qual possui doze traços e significa **cérebro**. A escolha do *kanji* foi fruto da necessidade da realização de uma tarefa manipulativa inédita do repertório locomotor dos sujeitos, os quais nunca haviam estudado japonês. O *kanji* *Nô* possui complexidade mediana com seus 12 traços, um kanji com mais traços poderia aumentar de maneira significativa o grau de dificuldade da tarefa, o que inviabilizaria o estudo. Nos estudos pilotos ficou claro que tarefas manipulativas que fazem parte do repertório cotidiano dos sujeitos, não apresentam diferenças estatisticamente significantes. Além do mais, o mesmo (*kanji* *Nô*), faz uma referência no objeto de estudo. Para a realização deste teste, o GE recebeu um caderno para o treinamento do Kanji, onde constavam 100 espaços para treinarem a escrita do mesmo.

Como decisão metodológica, os sujeitos foram orientados a realizar 50 vezes a escrita na primeira semana de treinamento. Após o treinamento, os cadernos foram entregues ao pesquisador e o mesmo forneceu feedbacks visuais de tamanho, alinhamento e inclinação dos traços com vistas a aprimorar a execução da tarefa. Os cadernos foram devolvidos aos 15 sujeitos para continuidade do treinamento da tarefa, até totalizarem 100 vezes o referido kanji, em um prazo de mais uma semana, os sujeitos receberam instruções e orientados a segui-las com maior rigor possível, foram elas:

- 1- É imprescindível seguir a sequência dos traços estipuladas na folha de referência (plastificada);
- 2- Realizar o treinamento com o caderno que você recebeu sobre a mesa, pois esta posição será replicada no dia da coleta dos dados oficiais;
- 3- Manter a borda inferior do caderno de treinamento 10 a 15cm da borda da mesa, e paralela a mesma;
- 4- Utilizar uma boa caneta de cor azul esferográfica para que o kanji fique totalmente legível;

5- Para executar o treinamento, você deve apoiar a porção distal de seu antebraço;

6- Realizar o treinamento em um ambiente calmo e livre de elementos que possam distraí-lo(a), (Ex: televisão ligada, usar smartphone durante o treinamento, som ligado, etc).

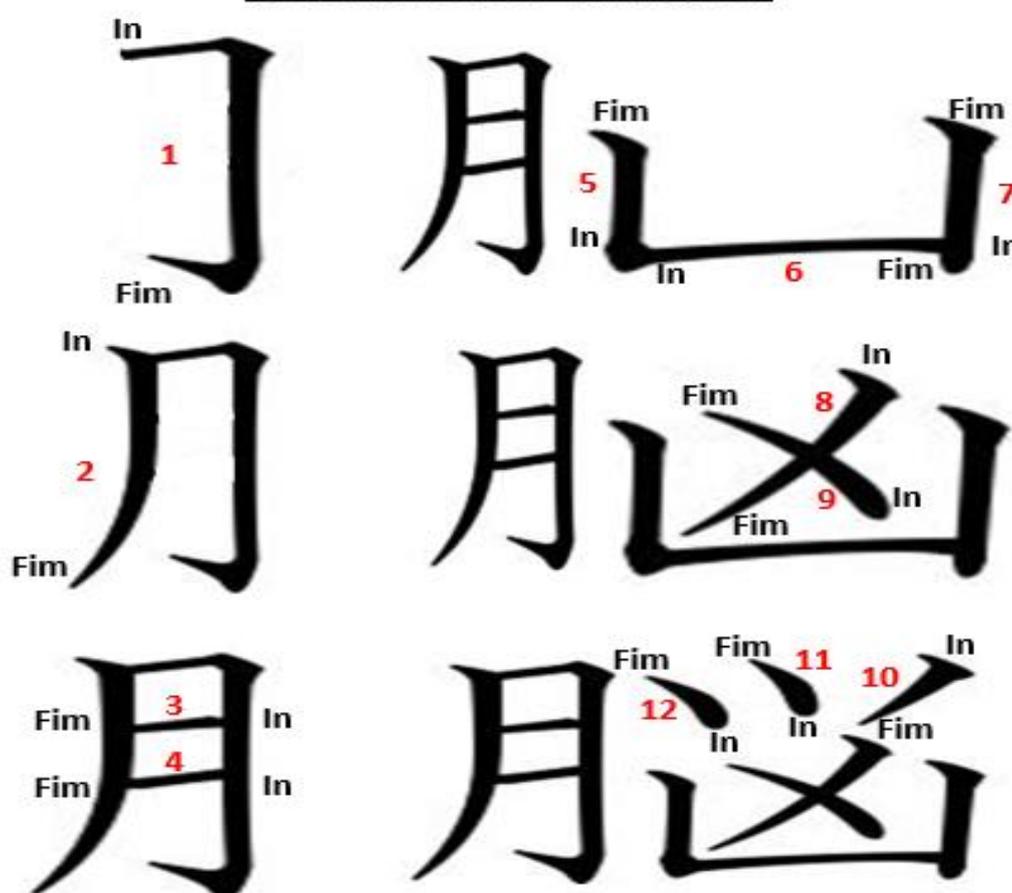
**Figura 7 - Folha de treinamento**

A folha de treinamento é composta por duas seções principais, cada uma contendo um grande retângulo branco para a execução dos exercícios. A primeira seção, no topo, é intitulada "EXECUÇÃO DO KANJI CÉREBRO - 1" e possui o texto "Página 1" no canto superior direito. A segunda seção, na base, é intitulada "EXECUÇÃO DO KANJI CÉREBRO - 2".

Fonte: Autor, (2019)

Figura 8 - Folha de referência

KANJI = CÉREBRO – 12 TRAÇOS

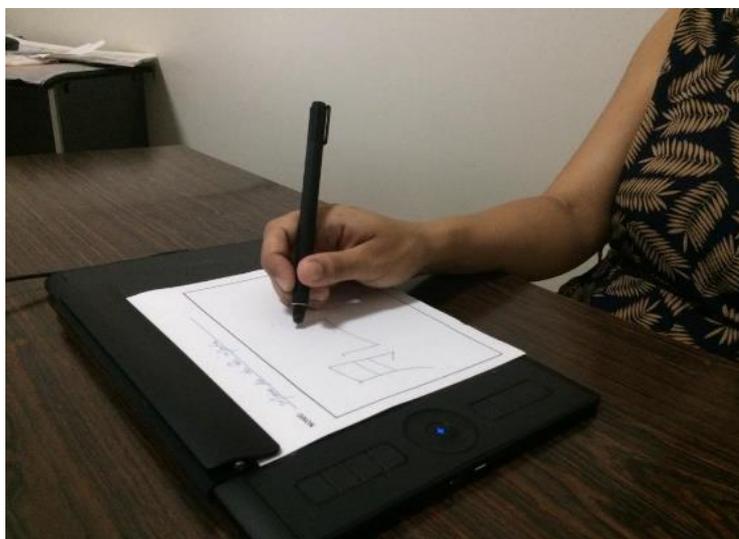
SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO:

Fonte: Autor, (2019)

A coleta final (centésima primeira execução dos sujeitos do grupo experimental treinados e a única dos sujeitos do grupo controle não treinados) envolveu 30 sujeitos, sendo eles 15 sujeitos de cada um dos grupos, os quais

realizaram o teste em uma mesa digitalizadora da marca *Wacom*, modelo *Intuos Pro Paper Edition*, onde ao sinal do pesquisador os sujeitos realizavam a escrita em uma folha sobre a mesa, com uma caneta digital sensível, que estava interligada com o notebook da marca *Dell*, que havia o programa *Wacom InkSpace* versão B180131a que capturou as escritas, as quais foram digitalizadas e transportadas para os programas estatísticos realizarem as análises quantitativas, já a matriz referencial de avaliação qualitativa para as análises qualitativas, a seguir a figura 9 mostra o *set* de coleta de dados.

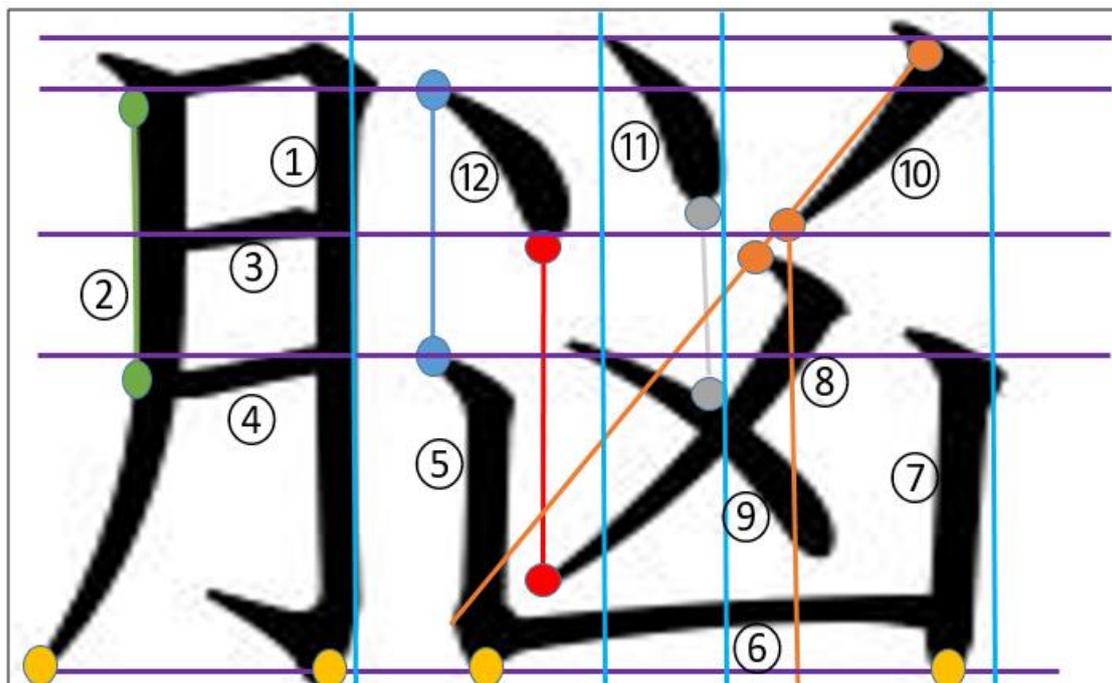
**Figura 9 - Aquisição de dados na mesa digitalizadora.**



Fonte: Autor, (2019)

Para avaliação qualitativa foi elaborada uma matriz com a qual um único avaliador pudesse realizá-la, a partir de marcações em cada traço do *kanji*, tais marcações foram divididas em pontos e linhas referenciais de alinhamentos, entre os doze traços diferentes do *kanji*; tais alinhamentos e proporções são características primordiais para a escrita proficiente do *kanji*, uma vez que se os mesmos não forem seguidos, o *kanji Nô* pode ser desconfigurado e ter um significado totalmente diferente do original. Para exemplificar tal fenômeno vamos recorrer a língua portuguesa, na qual a palavra “roma”, conforme pequenas alterações em alguns de seus traços, podem induzir o leitor a entendê-la como “rama”, conforme mostra a figura 10.

**Figura 10 - Pontos e linhas referenciais utilizadas na matriz de avaliação qualitativa.**



Fonte: Autor, (2019)

Na figura 10 utilizada como elemento central da tipificação da análise qualitativa, pode se observar 5 linhas referenciais paralelas horizontais; 9 linhas referenciais paralelas verticais e 1 linha oblíqua que se inicia no começo do traço 10 tangenciando o início do traço 8 seguindo até a intersecção com o traço 5. Na mesma foram utilizados também, 15 pontos referenciais identificados nesta figura nas cores verde, azul, amarelo, vermelho, cinza e laranja.

A variável qualitativa “tamanho”, refere-se à percepção do avaliador relativa ao comprimento de cada traço; o “alinhamento” refere-se ao ordenamento espacial das linhas e pontos referenciais mostrado na figura 10; por sua vez, a inclinação refere-se ao menor ângulo formado com a horizontal.

A descrição a seguir recorreu a estes 30 marcadores (linhas horizontais, verticais, oblíqua e pontos), na realização da avaliação qualitativa realizada.

No traço 1 sua porção superior se inicia na segunda linha roxa horizontal, de cima para baixo, realizando uma trajetória em acento tangenciando a primeira linha roxa, de cima para baixo, posteriormente desce uma linha reta paralela com referência à reta vertical azul até o ponto amarelo, finalizando com um traço inclinado que aponta para o traço 2.

O traço 2 se inicia entre as primeiras linhas horizontais superiores roxas,

de cima para baixo, desce em linha reta na vertical, do ponto verde superior ao ponto verde inferior, a seguir faz uma curva a esquerda, até o ponto amarelo na sequência do traço.

O traço 3 se inicia na intersecção do traço 1 com a terceira linha roxa referencial horizontal, de cima para baixo, e finaliza na intersecção da terceira linha roxa horizontal, de cima para baixo, com o traço 2.

O traço 4 inicia-se na intersecção da quarta linha horizontal de referência roxa, de cima para baixo, e finaliza no ponto verde inferior do traço 2.

O traço 5 inicia no terceiro ponto amarelo, da esquerda para direita, e finaliza-se no ponto azul inferior da quarta linha roxa de referência horizontal, de cima para baixo.

O traço 6 se inicia no terceiro ponto amarelo, da esquerda para a direita, fazendo uma inclinação em sua trajetória e finaliza-se logo acima do quarto ponto amarelo, da esquerda para direita, realizando a intersecção com o traço 7.

O traço 7 inicia-se no quarto ponto amarelo, da esquerda para a direita, realizando uma pequena inclinação a direita, sendo finalizado à altura da quarta linha horizontal referencial roxa, de cima para baixo.

O traço 8 se inicia no 3º ponto laranja, de cima para baixo, realizando uma leve envergadura, e finaliza no ponto vermelho inferior.

O traço 9 inicia-se próximo ao traço 6, cruzando o traço 8 em sua porção medial e finaliza-se na quarta linha horizontal de referência roxa, de cima para baixo.

O traço 10 inicia-se no primeiro ponto laranja, de cima para baixo, e finaliza-se no segundo ponto laranja, de cima para baixo.

O traço 11 se inicia no primeiro ponto cinza, de cima para baixo, realizando uma leve curvatura, e finaliza-se na primeira linha horizontal de referência roxa, de cima para baixo.

O traço 12, inicia-se no primeiro ponto vermelho, de cima para baixo, realizando uma curvatura para a esquerda e finaliza-se no primeiro ponto azul, de cima para baixo.

### **3.8 - Etapas de Validação do PAN®**

Na presente pesquisa, serão utilizadas as etapas clássicas na literatura científica para validação de instrumentos psicométricos, que serão detalhados a seguir.

#### **3.8.1 - Validade de Conteúdo**

É a etapa na qual a empiria dos pesquisadores é fundamental, pois são os autores das estratégias e conhecimentos que nortearão a consolidação da etapa de criação do instrumento.

Para Oliveira et al., (2017), não adianta um instrumento possuir rigor ou fidedignidade, necessita ser válido, ou seja, passar pelo processo de desenvolvimento e posteriormente por uma avaliação de especialistas. A validade de conteúdo determina a forma com que o domínio específico do conteúdo é interpelado pela escala, nesta avaliação é recomendada a utilização de procedimentos qualitativos e quantitativos. Neste caso foram utilizados a matriz de análise qualitativa e as variáveis cinemáticas do tempo de realização de cada traço, o deslocamento em centímetros e a velocidade média de realização dos mesmos em cm/s.

#### **3.8.2 - Consistência Interna**

Trata-se da medida da confiabilidade das respostas obtidas em um instrumento de natureza qualitativa. O teste alpha de Cronbach aqui utilizado permite inclusive a identificação de respostas ou ações (no caso desta pesquisa, os traços) que dificultam mais a execução do *kanji*. Valores iguais ou superiores a 0,70 são considerados com consistência interna boa e acima de 0,90, considerada excelente (STREINER, 2003, OLIVEIRA, 2017).

#### **3.8.3 - Validade Discriminante**

A validade discriminante se refere ao poder do instrumento em *avaliar o que pretende avaliar*, no caso da presente pesquisa, se refere à questão: esta

avaliação qualitativa de fato avalia adequadamente a qualidade do *kanji*? Foi utilizado o teste Rho de Tarkkonen, obtido através da razão entre as variâncias dos grupos (TARKKONEN, et al., 2006, OLIVEIRA, 2017).

#### **3.8.4 - Validade de Critério**

Refere-se às comparações dos critérios adotados na avaliação qualitativa (tamanho, alinhamento e inclinação) com a avaliação global do *kanji*. Em outras palavras: mede o impacto que a realização de cada critério tem na escrita do *kanji* enquanto totalidade que é. Para isto foi utilizado o teste t, entre cada critério e a avaliação global (BISQUERRA; SARRIERA; MARTINEZ, 2004, OLIVEIRA, 2017).

#### **3.8.5 - Validade de Concorrente**

É o método de correlacionar o presente instrumento com outro já existente, nesta pesquisa os dados oriundos da análise cinemática. O objetivo dessa etapa é encontrar similaridade entre os resultados de um determinado instrumento com outro, aplicado em um mesmo período de tempo. Foi utilizada a correlação de Spearman entre dados da avaliação qualitativa e da cinemática (BISQUERRA; SARRIERA; MARTINEZ, 2004, OLIVEIRA, 2017).

#### **3.8.6 - Reprodutibilidade Temporal**

Avalia o comportamento do instrumento no tempo, classicamente duas semanas após o primeiro teste realiza-se o re-teste. O método aqui utilizado foi o coeficiente de Kappa que compara os resultados da quinquagésima realização do *kanji* na fase do treinamento, com o mesmo realizado na centésima primeira realização do mesmo (BISQUERRA; SARRIERA; MARTINEZ, 2004 OLIVEIRA, 2017).

### 3.9 - Tratamento estatístico

Foi realizado o teste de normalidade de Shapiro Wilk, para testar a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias foi aferida pelo teste de Bartlett. A significância adotada foi de  $P < 0,05$  e o Poder de Teste de 80% para minimizar erros tipo II, ou seja, de aceitar a hipótese nula  $H_0$  quando esta é falsa ( $H_1$  é verdadeira). Foram calculados os Tamanhos dos Efeitos para as variáveis cinemáticas para minimizar a ocorrência de erro tipo II. Foram correlacionadas variáveis cinemáticas entre os dois grupos e também, as variáveis qualitativas.

Utilizou-se uma rotina no Matlab® para obtenção da matriz quali-quantitativa e uma ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving-Average*), para obtenção dos níveis de associação dos resultados quali-quantitativos dos sujeitos com os previstos no Modelo de Hebb – Albus – Marr (HAM), usual em análises temporais.

## **4 - Resultados e Discussões**

Optou-se por apresentar os resultados e discuti-los, seguindo a ordem presente nos objetivos específicos, para enfim, realizar o movimento de síntese que contemple o objetivo geral.

### **4.1 - Etapas de Validação do PAN®**

O processo de validação de instrumentos psicométricos utilizado é considerado o mais robusto, composto por seis etapas, além da validade de conteúdo, já descrita nos métodos, pois se refere à construção inicial do instrumento, a partir das expertises dos pesquisadores envolvidos, respaldados pelo que a literatura científica preconiza; os resultados das outras cinco são apresentados a seguir.

#### **4.1.1 - Consistência Interna**

Reafirmando, a consistência interna avalia o grau de confiabilidade das respostas obtidas no instrumento. Na presente pesquisa, refere-se, portanto, ao nível de credibilidade de cada traço realizado, quando comparado com os outros sujeitos da amostra, sempre na perspectiva quali-quantitativa da mesma. Os resultados da consistência interna, calculada pelo  $\alpha$  de Cronbach foi considerado satisfatório, tanto para os sujeitos do grupo controle quanto do grupo experimental. Para o grupo dos experientes a  $\alpha$  foi de 0,70 e para o grupo dos sujeitos sem experiência na tarefa foi de 0,84. É importante ressaltar que com o coeficiente de Cronbach é possível identificar qual sujeito compromete mais a confiabilidade dos resultados. Em ambos os grupos foi identificado um sujeito em cada que, se retirado da amostra, aumentaria os valores do mesmo, o que seria bem-vindo para garantir a “pesquisa ideal”, que felizmente só existe no plano das ideias. Numa perspectiva reducionista, com a qual aqui não se compactua, o usual, é simplesmente retirar estes sujeitos da amostra e assim aumentar as chances das correlações e significâncias que ajudem a corroborar a hipótese a ser testada. Tal prática, se possível em muitas pesquisas, é totalmente díspar da complexidade inerente ao presente estudo.

#### 4.1.2 - Validade Discriminante

O teste Rho de Tarkkonen utilizado para aferir a validade discriminante, possibilita evitar associações entre as variáveis que valorizem resultados tendenciosos e que sejam frutos do acaso. Foram calculados os valores de Rho entre sujeitos grupo controle não treinados e do grupo experimental treinados até o quinquagésimo *kanji* (Rho = 0,290), entre os não treinados e os treinados até o centésimo primeiro *kanji* (Rho = 0,551), e entre os treinados até quinquagésimo *kanji* e os treinados até o centésimo primeiro *kanji* (Rho = 1,376). Tais resultados evidenciam que as capacidades discriminantes da avaliação qualitativa entre as três situações supracitadas minimizaram satisfatoriamente a ocorrência de vieses.

#### 4.1.3 - Validade de Critério

O teste t para uma amostra foi utilizado para comparar cada um dos critérios (tamanho, alinhamento e inclinação dos traços) com a avaliação global em cada situação (grupo controle não treinados, grupo experimental treinados quinquagésima execução e grupo experimental treinados centésima primeira execução). A tabela 3 mostra os valores de t, a significância e o intervalo de confiança para cada situação.

**Tabela 3 - Teste t comparando os critérios com as avaliações globais**

Médias	Ag_nt			Ag_50			Ag_101		
	t	sig	ic	t	sig	ic	t	sig	ic
Tamanho	2,769	0,018	(0,038 ; 0,338)	0,003	0,998	(-0,197 ; 0,198)	-0,948	0,363	(-0,386 ; 0,153)
Alinhamento	-4,145	0,002	(-0,425 ; -0,130)	-5,497	0,000	(-0,536 ; -0,229)	-8,574	0,000	(-0,949 ; -0,561)
Inclinação	-4,787	0,001	(-0,414 ; -0,153)	-5,938	0,000	(-0,471 ; -0,216)	-12,335	0,000	(-0,962 ; -0,670)

Ag\_nt = avaliação global dos sujeitos não treinados; Ag\_50 = avaliação global dos sujeitos treinados no quinquagésimo execução; AG\_101 = avaliação global dos sujeitos treinados na centésima primeira execução.

Fonte: Autor, (2019)

Destacam-se os três valores significantes para avaliação global do grupo controle não treinados, que atestam a não ocorrência de eventuais relações causais entre a avaliação do traço, alinhamento e inclinação com a percepção do avaliador em classificar o *kanji* enquanto totalidade que é.

Em relação aos sujeitos do grupo experimental treinados na quinquagésima execução do *kanji* foram encontrados valores significantes para validade de critério apenas para o alinhamento e a inclinação dos traços, quando comparados com a avaliação global dos mesmos.

A avaliação global dos sujeitos treinados no centésimo primeiro *kanji* realizado, apresentou diferenças significantes quando comparados com alinhamento e inclinação dos traços; tal fato possibilita inferir mais uma vez que o todo é mais que a mera soma das partes.

#### 4.1.4 - Validade de Concorrente

A validade de concorrente foi obtida através da correlação de Spearman entre variáveis qualitativas e quantitativas. A tabela 4 abaixo mostra os valores de Rho de Spearman significantes para  $p < 0,01$ .

**Tabela 4 - Correlação Spearman para dados qualitativos e quantitativos**

	média tempo treinados	média espaço treinados	média tempo não treinados	média espaço não treinados	média velocidade média não treinados
			Rho (sig.)		
média tempo treinados		,762 (,004)	,951 (,000)	,816 (,001)	-,832 (,001)
média espaço treinados	,762 (,004)		,839 (,001)	,942 (,000)	
média tempo não treinados	,951 (,000)	,839 (,001)		,816 (,001)	-,783 (,003)
média espaço não treinados	,816 (,001)	,942 (,000)	,816 (,001)		
média velocidade média não treinados	-,832 (,001)		-,783 (,003)		
média inclinação não treinados		,717 (,009)			
média tamanho t_101	,820 (,001)		,770 (,003)	,743 (,006)	
média alinhamento t_101	,798 (,002)	,714 (,009)	,766 (,004)	,783 (,003)	
média inclinação t_101	,732 (,007)	,711 (,009)	,736 (,006)	,725 (,008)	

Correlações significantes para  $P < 0,01$  (bilateral).

Fonte: Autor, (2019)

#### 4.1.5 - Reprodutibilidade Temporal

O teste Kappa utilizado para averiguar o comportamento da estabilidade pode ser realizado de diferentes maneiras para calculá-lo, optou-se pela equação:

$$kappa = \frac{valor\ observado - valor\ esperado}{1 - valor\ esperado}$$

Os resultados encontrados foram: Para o quinquagésimo *kanji* executado  $kappa = 0,585$ , concordância esta considerada moderada. Para o centésimo primeiro *kanji* executado,  $kappa = 0,363$ , considerada concordância justa ou imparcial.

Tais resultados corroboram outros instrumentos psicométricos que recorreram ao mesmo critério para avaliar a reprodutibilidade temporal, realizada por outros pesquisadores (OLIVEIRA, 2017).

#### 4.2 - Estatística e modelamento matemático

Serão apresentados resultados e discussões das estatísticas descritivas da análise qualitativa e quantitativa, procurando destacar os resultados mais relevantes e assim, quando possível, realizar inferências relativas aos objetivos propostos, confrontando-os com a literatura.

Adotou-se como critério a realização desta discussão, inicialmente com dados da análise qualitativa, a partir das três situações da aquisição de dados: sujeitos do grupo controle não treinados; sujeitos do grupo experimental treinados na quinquagésima execução do *kanji* e na centésima primeira execução.

**Tabela 5 - Estatística Descritiva – Tamanho (cm) dos traços sujeitos não treinados**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO (cm)</b>	<b>MÁXIMO(cm)</b>	<b>MÉDIA (± DP)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
t1t_nt	3,00	4,00	3,46 (± 0,51)	0,27
t2t_nt	2,00	4,00	3,53 (± 0,63)	0,41
t3t_nt	3,00	4,00	3,33 (± 0,48)	0,24
t4t_nt	3,00	4,00	3,26 (± 0,45)	0,21
t5t_nt	2,00	4,00	3,20 (± 0,56)	0,31
t6t_nt	3,00	4,00	3,73 (± 0,45)	0,21
t7t_nt	3,00	4,00	3,26 (± 0,45)	0,21
t8t_nt	2,00	4,00	3,00 (± 0,65)	0,43
t9t_nt	2,00	4,00	2,93 (± 0,59)	0,35
t10t_nt	2,00	4,00	3,00 (± 0,53)	0,29
t11t_nt	2,00	4,00	3,20 (± 0,67)	0,46
t12t_nt	2,00	4,00	3,13 (± 0,74)	0,55

Fonte: Autor, (2019)

**Tabela 6 - Estatística Descritiva – Tamanho (cm) dos traços sujeitos treinados\_50**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO(cm)</b>	<b>MÁXIMO(cm)</b>	<b>MÉDIA (± DP)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
t1tt_50	3,00	7,00	5,00 (± 1,31)	1,71
t2tt_50	3,00	8,00	5,33 (± 1,29)	1,66
t3tt_50	3,00	7,00	4,93 (± 0,88)	0,78
t4tt_50	4,00	6,00	4,86 (± 0,63)	0,41
t5tt_50	3,00	8,00	4,73 (± 1,33)	1,78
t6tt_50	4,00	6,00	5,00 (± 0,53)	0,28
t7tt_50	3,00	6,00	4,53 (± 0,74)	0,55
t8tt_50	3,00	6,00	4,73 (± 0,88)	0,78
t9tt_50	4,00	5,00	4,60 (± 0,50)	0,25
t10tt_50	3,00	6,00	4,46 (± 0,83)	0,69
t11tt_50	3,00	5,00	4,26 (± 0,59)	0,35
t12tt_50	3,00	5,00	4,33 (± 0,72)	0,52

Fonte: Autor, (2019)

**Tabela 7 - Estatística Descritiva – Tamanho (cm) dos traços sujeitos treinados\_101**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO(cm)</b>	<b>MÁXIMO(cm)</b>	<b>MÉDIA (± DP)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
<b>t1tt_101</b>	6,000	8,000	7,00 (± 0,65)	0,43
<b>t2tt_101</b>	6,000	8,000	7,07 (± 0,59)	0,35
<b>t3tt_101</b>	5,000	8,000	6,67 (± 0,90)	0,81
<b>t4tt_101</b>	5,000	8,000	6,67 (± 0,90)	0,81
<b>t5tt_101</b>	6,000	8,000	7,07 (± 0,70)	0,50
<b>t6tt_101</b>	5,000	8,000	7,07 (± 0,80)	0,64
<b>t7tt_101</b>	5,000	8,000	6,93 (± 0,88)	0,78
<b>t8tt_101</b>	5,000	8,000	6,53 (± 0,74)	0,55
<b>t9tt_101</b>	5,000	7,000	6,13 (± 0,83)	0,69
<b>t10tt_101</b>	5,000	8,000	6,27 (± 0,88)	0,78
<b>t11tt_101</b>	5,000	7,000	6,00 (± 0,76)	0,57
<b>t12tt_101</b>	5,000	7,000	6,00 (± 0,65)	0,43

Fonte: Autor, (2019)

Nas tabelas 5, 6 e 7 são reportados os resultados da estatística descritiva dos traços nas três situações; é possível destacar que os sujeitos não treinados apresentaram as maiores variâncias nos traços 11 e 12. Em relação aos sujeitos do grupo experimental treinados na quinquagésima execução as maiores variâncias ocorreram nos traços 1 e 5, e na centésima primeira execução ocorreram nos traços 3 e 4. Tais resultados mostram que entre as situações não foram constatados padrões de variabilidade.

A seguir, são apresentados e discutidos os resultados da estatística descritiva, referente ao alinhamento dos traços nas três situações.

**Tabela 8 - Estatística Descritiva – Alinhamento dos traços sujeitos não treinados**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÉDIA (± DP)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
t1a_nt	2,000	4,000	3,06 (± 0,59)	0,35
t2a_nt	2,000	4,000	2,93 (± 0,59)	0,35
t3a_nt	2,000	4,000	3,00 (± 0,65)	0,43
t4a_nt	2,000	4,000	2,73 (± 0,70)	0,50
t5a_nt	2,000	4,000	2,46 (± 0,63)	0,41
t6a_nt	2,000	4,000	3,26 (± 0,79)	0,64
t7a_nt	2,000	4,000	2,73 (± 0,88)	0,78
t8a_nt	1,000	4,000	2,60 (± 0,73)	0,54
t9a_nt	2,000	3,000	2,60 (± 0,50)	0,26
t10a_nt	2,000	4,000	2,60 (± 0,63)	0,40
t11a_nt	2,000	3,000	2,73 (± 0,45)	0,21
t12a_nt	2,000	4,000	2,73 (± 0,59)	0,35

Fonte: Autor, (2019)

**Tabela 9 - Estatística Descritiva – Alinhamento dos traços sujeitos treinados\_50**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÉDIA (± DP)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
t1at_50	3,00	7,00	4,53 (± 1,18)	1,41
t2at_50	4,00	8,00	4,53 (± 1,06)	1,12
t3at_50	3,00	6,00	4,46 (± 0,74)	0,55
t4at_50	3,00	7,00	4,46 (± 0,91)	0,83
t5at_50	3,00	8,00	4,40 (± 1,29)	1,68
t6at_50	3,00	6,00	4,66 (± 0,81)	0,66
t7at_50	3,00	6,00	4,33 (± 0,89)	0,81
t8at_50	3,00	6,00	4,53 (± 0,74)	0,55
t9at_50	3,00	5,00	4,13 (± 0,51)	0,26
t10at_50	3,00	5,00	4,26 (± 0,79)	0,63
t11at_50	3,00	4,00	3,86 (± 0,35)	0,12
t12at_50	3,00	5,00	4,00 (± 0,65)	0,42

Fonte: Autor, (2019)

**Tabela 10 - Estatística Descritiva – Alinhamento dos traços sujeitos treinados\_101**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÉDIA (± DP)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
<b>t1at_101</b>	5,00	8,00	6,53 (± 0,92)	0,84
<b>t2at_101</b>	5,00	8,00	6,20 (± 0,77)	0,60
<b>t3at_101</b>	4,00	8,00	6,13 (± 0,99)	0,98
<b>t4at_101</b>	4,00	8,00	5,93 (± 1,10)	1,21
<b>t5at_101</b>	5,00	8,00	6,33 (± 0,98)	0,95
<b>t6at_101</b>	4,00	8,00	6,20 (± 0,86)	0,74
<b>t7at_101</b>	4,00	7,00	5,93 (± 0,88)	0,78
<b>t8at_101</b>	5,00	7,00	5,87 (± 0,74)	0,55
<b>t9at_101</b>	5,00	7,00	5,73 (± 0,59)	0,35
<b>t10at_101</b>	4,00	8,00	5,67 (± 0,90)	0,81
<b>t11at_101</b>	4,00	6,00	5,67 (± 0,62)	0,38
<b>t12at_101</b>	4,00	7,00	5,53 (± 0,83)	0,70

Fonte: Autor, (2019)

Nas tabelas 8, 9 e 10 destacam-se as maiores variâncias nos traços 6 e 7 para os sujeitos do grupo controle não treinados; nos traços 5 e 1 para sujeitos do grupo experimental treinados na quinquagésima execução e os traços 4 e 5 na centésima primeira execução. Observa-se que na quinquagésima execução tanto o traço quanto o alinhamento, apresentaram as maiores variâncias nos traços 5 e 1 respectivamente.

Na tabela 11, são apresentados e discutidos os dados da estatística descritiva referente a inclinação dos traços nas três situações.

**Tabela 11 - Estatística Descritiva – Inclinação dos traços sujeitos não treinados**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÉDIA (± DP)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
t1i_nt	2,000	4,000	3,00 (± 0,53)	0,29
t2i_nt	1,000	4,000	2,00 (± 0,74)	0,55
t3i_nt	2,000	4,000	2,60 (± 0,63)	0,40
t4i_nt	2,000	4,000	2,60 (± 0,63)	0,40
t5i_nt	2,000	4,000	2,73 (± 0,59)	0,35
t6i_nt	2,000	4,000	3,27 (± 0,88)	0,78
t7i_nt	2,000	4,000	2,73 ± 0,70)	0,50
t8i_nt	1,000	4,000	2,73 (± 0,70)	0,50
t9i_nt	2,000	3,000	2,73 (± 0,46)	0,21
t10i_nt	2,000	3,000	2,53 (± 0,52)	0,27
t11i_nt	2,000	4,000	2,93 (± 0,46)	0,21
t12i_nt	2,000	4,000	2,67 (± 0,62)	0,38

Fonte: Autor, (2019)

**Tabela 12 - Estatística Descritiva – Inclinação dos traços sujeitos treinados\_50**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÉDIA (± DP)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
t1it_50	3,00	6,00	4,53 (± 1,06)	1,12
t2it_50	3,00	8,00	4,46 (± 1,12)	1,26
t3it_50	3,00	6,00	4,26 (± 0,96)	0,92
t4it_50	3,00	7,00	4,40 (± 1,12)	1,25
t5it_50	3,00	6,00	4,40 (± 0,82)	0,68
t6it_50	3,00	6,00	4,60 (± 0,91)	0,82
t7it_50	4,00	5,00	4,40 (± 0,50)	0,25
t8it_50	3,00	7,00	4,66 (± 1,04)	1,09
t9it_50	3,00	6,00	4,60 (± 0,73)	0,54
t10it_50	3,00	5,00	4,06 (± 0,70)	0,49
t11it_50	3,00	5,00	4,13 (± 0,63)	0,41
t12it_50	3,00	6,00	4,13 (± 0,83)	0,69

Fonte: Autor, (2019)

**Tabela 13 - Estatística Descritiva – Inclinação dos traços sujeitos treinados\_101**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÉDIA (± DP)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
t1it_101	5,00	8,00	6,40 (± 0,91)	0,83
t2it_101	4,00	8,00	5,93 (± 0,96)	0,92
t3it_101	4,00	8,00	6,00 (± 1,07)	1,14
t4it_101	4,00	8,00	5,87 (± 1,13)	1,27
t5it_101	5,00	8,00	6,13 (± 0,83)	0,70
t6it_101	5,00	8,00	6,13 (± 0,83)	0,70
t7it_101	4,00	7,00	5,87 (± 0,74)	0,55
t8it_101	5,00	8,00	5,93 (± 0,88)	0,78
t9it_101	5,00	7,00	5,80 (± 0,56)	0,31
t10it_101	4,00	8,00	5,68 (± 0,98)	0,95
t11it_101	5,00	6,00	5,67 (± 0,49)	0,24
t12it_101	4,00	7,00	5,60 (± 0,74)	0,54

Fonte: Autor, (2019)

Nas tabelas 11, 12 e 13 observa-se que os sujeitos do grupo controle não treinados apresentaram maiores variâncias nos traços 6 e 2, ao passo que os sujeitos do grupo experimental treinados na quinquagésima execução, tal ocorrência se deu nos traços 2 e 4, e os sujeitos do grupo experimental treinados na centésima primeira nos traços 3 e 4.

Na tabela 14, são apresentados e discutidos a estatística descritiva da avaliação global para as três situações.

**Tabela 14 - Estatística Descritiva - Avaliação global sujeitos não treinados**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÉDIA (± DP)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
ag_nt	2,00	4,00	3,07 (± 0,59)	0,35

Fonte: Autor, (2019)

**Tabela 15 - Estatística Descritiva - Avaliação global sujeitos treinados\_50**

TRAÇOS	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA ( $\pm$ DP)	VARIÂNCIA
agt_50	3,00	7,00	4,73 ( $\pm$ 1,09)	1,21

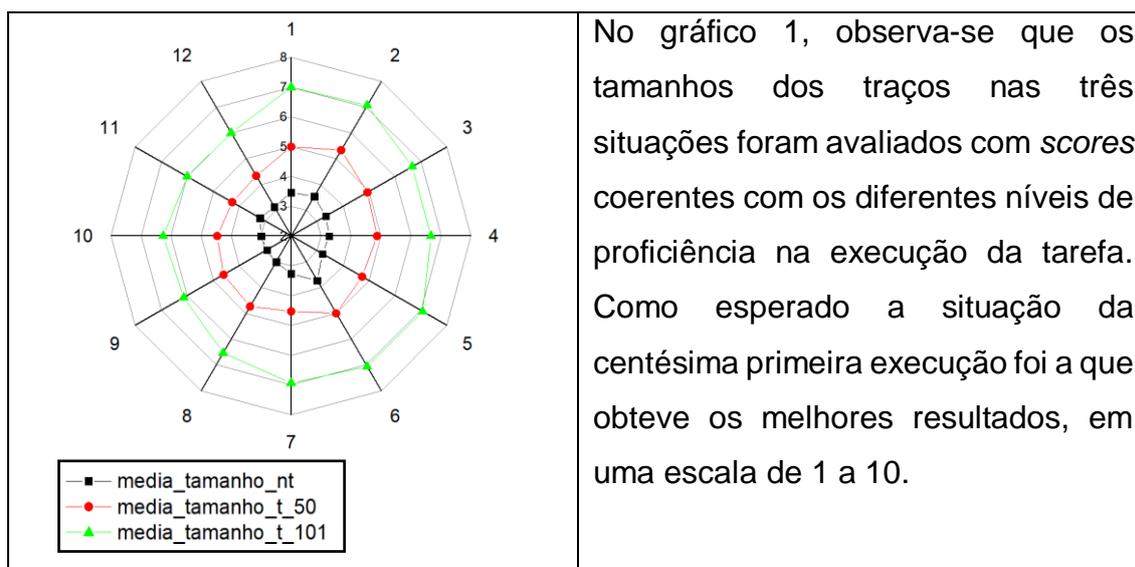
Fonte: Autor, (2019)

**Tabela 16 - Estatística Descritiva - Avaliação global sujeitos treinados\_101**

TRAÇOS	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA ( $\pm$ DP)	VARIÂNCIA
agt_101	6,00	8,00	6,73 ( $\pm$ 0,80)	0,64

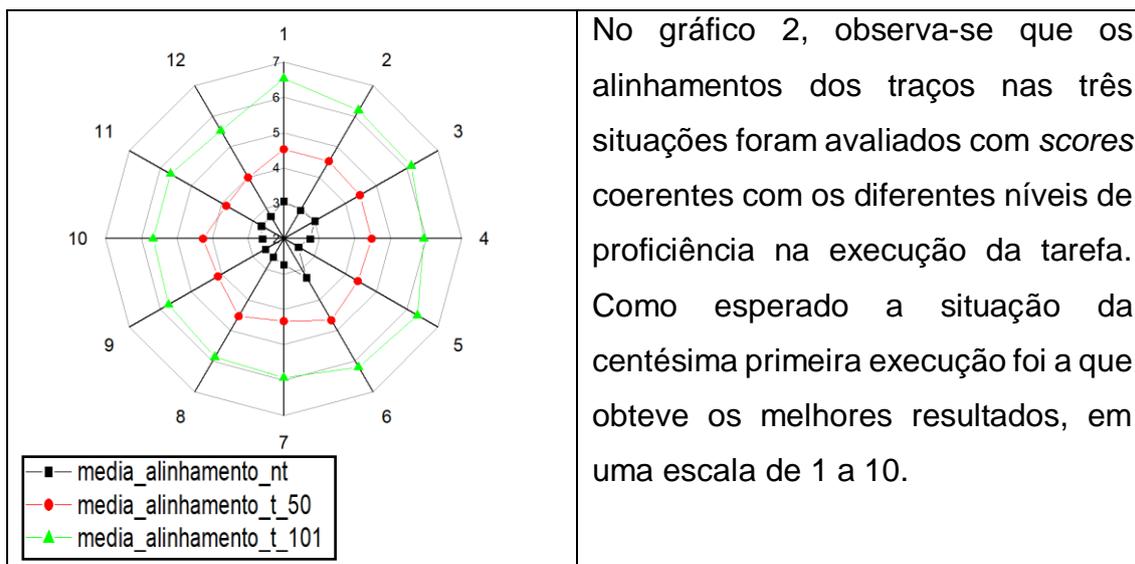
Fonte: Autor, (2019)

Nas tabelas 14, 15 e 16 observa-se que os sujeitos do grupo experimental treinados na quinquagésima execução é que tem a maior variância, ou seja, provavelmente, essa diferença se refere ao estágio de proficiência na execução da tarefa, nesta etapa da aquisição de dados. Para ilustrar as diferenças entre as três situações da avaliação qualitativa dos *kanjis*, os Gráficos 1, 2 e 3 mostram as variações dos tamanhos dos traços, seus alinhamentos e inclinações.

**Gráfico 1 - Tamanho dos traços nas três diferentes situações**

Fonte: Autor, (2019)

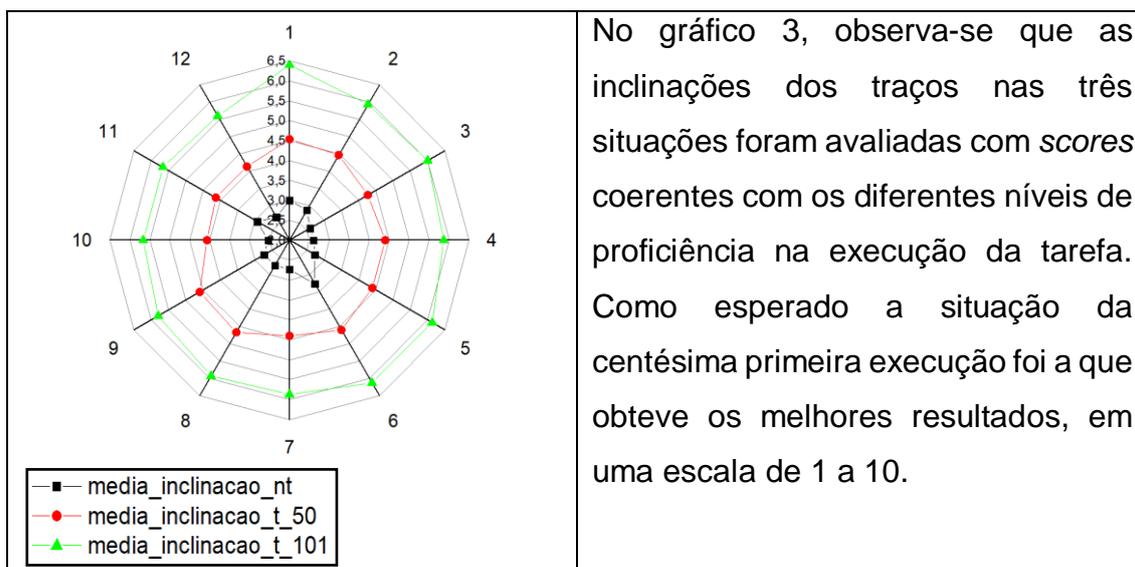
**Gráfico 2 - Alinhamento dos traços nas três diferentes situações**



Fonte: Autor, (2019)

No gráfico 2, observa-se que os alinhamentos dos traços nas três situações foram avaliados com *scores* coerentes com os diferentes níveis de proficiência na execução da tarefa. Como esperado a situação da centésima primeira execução foi a que obteve os melhores resultados, em uma escala de 1 a 10.

**Gráfico 3 - Inclinação dos traços nas três diferentes situações**



Fonte: Autor, (2019)

No gráfico 3, observa-se que as inclinações dos traços nas três situações foram avaliadas com *scores* coerentes com os diferentes níveis de proficiência na execução da tarefa. Como esperado a situação da centésima primeira execução foi a que obteve os melhores resultados, em uma escala de 1 a 10.

Em se tratando da avaliação global é pertinente ressaltar que na situação da centésima primeira execução a média da mesma foi a maior, uma evidência das consequências do treinamento.

A seguir, nas tabelas 17 e 18, são apresentados e discutidos a estatística descritiva das variáveis cinemáticas tempo, espaço percorrido e velocidade

média da execução de cada traço respectivamente. Tais variáveis foram obtidas para o grupo que executou a tarefa uma única vez (não treinados), e para o grupo experimental treinados na centésima primeira execução da mesma.

**Tabela 17 - Estatística Descritiva – Tempo de execução dos traços sujeitos não treinados**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO (s)</b>	<b>MÁXIMO (s)</b>	<b>MÉDIA (<math>\pm</math> DP) (s)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
t1t_nt	2,11	13,22	5,40 ( $\pm$ 3,04)	9,23
t2t_nt	0,24	10,11	3,12 ( $\pm$ 2,93)	8,58
t3t_nt	0,13	3,01	0,81 ( $\pm$ 0,85)	0,72
t4t_nt	0,16	2,24	0,98 ( $\pm$ 0,71)	0,51
t5t_nt	0,22	5,16	2,07 ( $\pm$ 1,46)	2,14
t6t_nt	1,04	5,10	1,98 ( $\pm$ 1,18)	1,40
t7t_nt	0,20	6,03	1,93 ( $\pm$ 1,49)	2,22
t8t_nt	0,12	6,18	1,99 ( $\pm$ 1,56)	2,43
t9t_nt	0,13	5,13	1,47 ( $\pm$ 1,28)	1,63
t10t_nt	0,08	4,08	1,39 ( $\pm$ 1,30)	1,68
t11t_nt	0,11	3,03	0,65 ( $\pm$ 0,80)	0,65
t12t_nt	0,08	3,02	0,70 ( $\pm$ 0,79)	0,62

Fonte: Autor, (2019)

**Tabela 18 - Estatística Descritiva – Tempo de execução dos traços sujeitos treinados\_101**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO (s)</b>	<b>MÁXIMO (s)</b>	<b>MÉDIA (<math>\pm</math> DP) (s)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
<b>t1tt_101</b>	0,23	14,20	6,32 ( $\pm$ 4,57)	20,91
<b>t2tt_101</b>	0,12	7,24	2,48 ( $\pm$ 2,36)	5,57
<b>t3tt_101</b>	0,07	3,03	1,21 ( $\pm$ 0,93)	0,87
<b>t4tt_101</b>	0,06	2,17	1,11 ( $\pm$ 0,80)	0,65
<b>t5tt_101</b>	0,07	6,12	2,29 ( $\pm$ 2,02)	4,09
<b>t6tt_101</b>	0,10	7,01	2,19 ( $\pm$ 1,93)	3,74
<b>t7tt_101</b>	0,06	6,11	2,22 ( $\pm$ 1,87)	3,49
<b>t8tt_101</b>	0,07	6,11	1,91 ( $\pm$ 1,62)	2,62
<b>t9tt_101</b>	0,06	4,12	1,45 ( $\pm$ 1,21)	1,46
<b>t10tt_101</b>	0,06	6,08	1,65 ( $\pm$ 1,62)	2,62
<b>t11tt_101</b>	0,04	2,06	0,83 ( $\pm$ 0,76)	0,58
<b>t12tt_101</b>	0,04	2,13	0,78 ( $\pm$ 0,77)	0,59

Fonte: Autor, (2019)

Nas tabelas 17 e 18 destacamos que os sujeitos do grupo experimental treinados apresentaram maior média e variância para o traço 1, enquanto que os sujeitos do grupo controle não treinados apresentaram maior média e variância para o traço 2. Esses dois traços apresentaram um maior tempo de execução, provavelmente, devido seu tamanho ser maior em relação aos demais traços.

A seguir, são apresentados e discutidos a estatística descritiva do espaço percorrido dos traços, para os sujeitos não treinados e treinados.

**Tabela 19 - Estatística Descritiva – Espaço percorrido dos traços sujeitos não treinados**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO (cm)</b>	<b>MÁXIMO (cm)</b>	<b>MÉDIA (<math>\pm</math> DP) (cm)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
t1e_nt	4,27	9,15	6,52 ( $\pm$ 1,35)	1,83
t2e_nt	3,02	5,91	4,37 ( $\pm$ 0,81)	0,66
t3e_nt	0,99	3,39	1,73 ( $\pm$ 0,63)	0,39
t4e_nt	1,25	2,51	1,69 ( $\pm$ 0,41)	0,17
t5e_nt	1,41	3,54	2,47 ( $\pm$ 0,64)	0,41
t6e_nt	1,96	5,17	3,80 ( $\pm$ 0,87)	0,76
t7e_nt	1,75	3,90	2,70 ( $\pm$ 0,64)	0,41
t8e_nt	1,62	3,43	2,44 ( $\pm$ 0,61)	0,37
t9e_nt	1,74	3,69	2,49 ( $\pm$ 0,63)	0,40
t10e_nt	0,64	1,50	1,04 ( $\pm$ 0,29)	0,08
t11e_nt	0,69	1,78	1,10 ( $\pm$ 0,32)	0,10
t12e_nt	0,79	1,66	1,10 ( $\pm$ 0,28)	0,08

Fonte: Autor, (2019)

**Tabela 20 - Estatística Descritiva – Espaço percorrido dos traços sujeitos treinados\_101**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO (cm)</b>	<b>MÁXIMO (cm)</b>	<b>MÉDIA (<math>\pm</math> DP) (cm)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
t1et_101	6,58	17,05	9,40 ( $\pm$ 2,62)	6,85
t2et_101	3,64	10,74	5,93 ( $\pm$ 2,01)	4,03
t3et_101	1,33	3,48	2,22 ( $\pm$ 0,58)	0,34
t4et_101	1,43	3,37	2,24 ( $\pm$ 0,56)	0,31
t5et_101	2,09	5,70	2,88 ( $\pm$ 0,96)	0,91
t6et_101	3,40	8,23	5,29 ( $\pm$ 1,38)	1,92
t7et_101	1,95	6,75	3,21 ( $\pm$ 1,17)	1,36
t8et_101	2,26	7,79	3,94 ( $\pm$ 1,39)	1,93
t9et_101	2,29	7,73	3,46 ( $\pm$ 1,28)	1,63
t10et_101	0,92	1,94	1,41 ( $\pm$ 0,37)	0,14
t11et_101	1,10	4,24	1,77 ( $\pm$ 0,83)	0,69
t12et_101	1,08	4,12	1,68 ( $\pm$ 0,75)	0,56

Fonte: Autor, (2019)

Nas tabelas 19 e 20 as maiores variâncias foram encontradas nos traços 1 e 6 para os sujeitos do grupo controle não treinados e 1 e 2 para os sujeitos do grupo experimental treinados. Pode-se notar que o traço 1 é o maior em ambos os grupos, isto provavelmente se refere ao fato de que o mesmo é maior que os demais, apesar de intencionalmente, ter existido pouco controle relativo a execução do *kanji*, afinal, os sujeitos foram orientados a realizá-lo a partir do *feedback* visual recebido e da sequência de execução dos traços do mesmo.

A seguir são apresentados e discutidos a estatística descritiva da velocidade média da execução dos traços para ambos os grupos.

**Tabela 21 - Estatística Descritiva – Velocidade média dos traços sujeitos não treinados**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO (cm/s)</b>	<b>MÁXIMO (cm/s)</b>	<b>MÉDIA (± DP) (cm/s)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
t1v_nt	0,63	2,27	1,45 (± 0,56)	0,31
t2v_nt	0,38	18,15	3,21 (± 4,30)	18,52
t3v_nt	0,68	21,20	5,95 (± 6,03)	36,32
t4v_nt	0,85	13,46	4,17 (± 4,46)	19,91
t5v_nt	0,53	8,52	1,96 (± 1,98)	3,91
t6v_nt	0,80	4,30	2,37 (± 1,10)	1,20
t7v_nt	0,61	11,37	2,72 (± 3,10)	9,64
t8v_nt	0,55	16,29	3,23 (± 5,07)	25,66
t9v_nt	0,67	13,83	3,79 (± 4,27)	18,21
t10v_nt	0,30	10,00	2,33 (± 2,85)	8,12
t11v_nt	0,38	11,96	5,05 (± 4,04)	16,35
t12v_nt	0,41	12,65	5,07 (± 4,60)	21,16

Fonte: Autor, (2019)

**Tabela 22 - Estatística Descritiva – Velocidade média dos traços sujeitos treinados\_101**

<b>TRAÇOS</b>	<b>MÍNIMO (cm/s)</b>	<b>MÁXIMO (cm/s)</b>	<b>MÉDIA (± DP) (cm/s)</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
<b>t1vt_101</b>	0,61	45,21	5,05 (± 10,90)	118,71
<b>t2vt_101</b>	0,73	66,22	13,09 (± 20,90)	436,89
<b>t3vt_101</b>	0,76	35,26	6,38 (± 10,16)	103,28
<b>t4vt_101</b>	1,03	47,55	7,86 (± 13,11)	171,98
<b>t5vt_101</b>	0,35	55,74	7,84 (± 15,14)	229,25
<b>t6vt_101</b>	0,86	77,01	10,62 (± 20,22)	408,85
<b>t7vt_101</b>	0,46	68,58	9,05 (± 18,20)	331,23
<b>t8vt_101</b>	0,95	54,59	8,63 (± 14,45)	208,82
<b>t9vt_101</b>	1,05	55,07	10,63 (± 15,69)	246,33
<b>t10vt_101</b>	0,17	19,38	4,74 (± 6,53)	42,62
<b>t11vt_101</b>	0,60	56,39	10,08 (± 14,71)	216,33
<b>t12vt_101</b>	0,71	59,68	9,79 (± 14,78)	218,37

Fonte: Autor, (2019)

Nas tabelas 21 e 22 verificou-se maior variância nos traços 3 e 8 para os sujeitos do grupo controle não treinados e para os sujeitos do grupo experimental treinados os traços 2 e 6. As variâncias menores do grupo não treinados pode ser decorrente da necessidade de uma execução em baixa velocidade para garantir um maior controle neuromotor. A seguir, nas tabelas 23, 24 e 25, serão apresentadas e discutidas as correlações entre as categorias utilizadas na matriz qualitativa (tamanho do traço, alinhamento e inclinação), para sujeitos do grupo controle não treinados e sujeitos do grupo experimental treinados na quinquagésima e centésima primeira execução do *kanji*. Tal teste tem como meta averiguar se tais categorias estão associadas estatisticamente e, eventualmente, causalmente.

**Tabela 23 - Correlação de Spearman qualitativa sujeitos não treinados**

	media_t_nt	media_a_nt	media_i_nt
media_t_nt	1,000	,875**	,723**
media_a_nt	,875**	1,000	,683*
media_i_nt	,723**	,683*	1,000

\*\* Correlações significantes para  $P < 0,01$  (bicaudal)

\* Correlações significantes para  $P < 0,05$  (bicaudal)

t\_nt = tamanho para sujeitos não treinados; a\_nt = alinhamento para sujeitos não treinados; i\_nt = inclinação para sujeitos não treinados. Fonte: Autor, (2019).

**Tabela 24 - Correlação de Spearman qualitativa sujeitos treinados\_50**

	media_tt_50	media_at_50	media_it_50
media_tt_50	1,000	,849**	0,576
media_at_50	,849**	1,000	,638*
media_it_50	0,576	,638*	1,000

\*\* Correlações significantes para  $P < 0,01$  (bicaudal)

\* Correlações significantes para  $P < 0,05$  (bicaudal)

tt\_50 = tamanho para sujeitos treinados na quinquagésima execução; at\_50 = alinhamento para sujeitos treinados na quinquagésima execução; it\_50 = inclinação para sujeitos treinados na quinquagésima execução. Fonte: Autor, (2019).

**Tabela 25 - Correlação de Spearman qualitativa sujeitos treinados\_101**

	media_tt_101	media_at_101	media_it_101
media_tt_101	1,000	,888**	,808**
media_at_101	,888**	1,000	,958**
media_it_101	,808**	,958**	1,000

\*\* Correlações significantes para  $P < 0,01$  (bicaudal)

tt\_101 = tamanho para sujeitos treinados na centésima primeira execução; at\_101 = alinhamento para sujeitos treinados na centésima primeira execução; it\_101 = inclinação para sujeitos treinados na centésima primeira execução. Fonte: Autor, (2019).

As tabelas 23, 24 e 25, mostram os valores das correlações para as três situações. A única correlação não significativa ocorreu entre *tamanho* e *inclinação*, para a quinquagésima execução do kanji; todas as outras possíveis correlações foram significantes. Na perspectiva da complexidade inerente à tarefa, isto pode ser uma evidência da máxima: “a parte está no todo e o todo está na parte”. Uma questão de destaque é: será que para as situações (não treinados e em processo de treinamento) a existência de correlações significantes atesta uma relação causal entre tamanho, alinhamento e inclinação dos traços, independente da eficiência da execução da tarefa? Na tentativa de responder esta questão, foram correlacionadas variáveis qualitativas (tamanho, alinhamento e inclinação de cada traço) e quantitativas (tempo, espaço percorrido e velocidade média de execução de cada traço), cujos valores de Rho de Spearman e significância estão presentes na tabela 26.

**Tabela 26 - Correlações de Spearman significantes entre as variáveis qualitativas e quantitativas**

	<i>média_tt_101</i>	<i>média_et_101</i>	<i>média_t_nt</i>	<i>média_e_nt</i>	<i>média_vm_nt</i>
	Rho (sig.)				
<b><i>média_tt_101</i></b>		,762 (,004)	,951 (,000)	,816 (,001)	-,832 (,001)
<b><i>média_et_101</i></b>	,762 (,004)		,839 (,001)	,942 (,000)	
<b><i>média_t_nt</i></b>	,951 (,000)	,839 (,001)		,816 (,001)	-,783 (,003)
<b><i>média_e_nt</i></b>	,816 (,001)	,942 (,000)	,816 (,001)		
<b><i>média_vm_nt</i></b>	-,832 (,001)		-,783 (,003)		
<b><i>média_i_nt</i></b>		,717 (,009)			
<b><i>média_tt_101</i></b>			,770 (,003)	,743 (,006)	
<b><i>média_at_101</i></b>	,798 (,002)	,714 (,009)	,766 (,004)	,783 (,003)	
<b><i>média_it101</i></b>	,732 (,007)	,711 (,009)	,736 (,006)	,725 (,008)	

Correlações significantes para  $P < 0,01$  (bicaudal).

Dados quantitativos (onde *tt\_101* = tempo de realização dos traços para sujeitos treinados no centésimo primeiro *kanji*; *et\_101* = espaço percorrido na realização dos traços para sujeitos treinados no centésimo primeiro *kanji*; *t\_nt* = tempo de realização dos traços para sujeitos não treinados; *e\_nt* = espaço percorrido na realização dos traços para sujeitos não treinados; *vm\_nt* = velocidade média na realização dos traços para sujeitos não treinados) / dados qualitativos (onde *i\_nt* = inclinação dos traços para sujeitos não treinados; *tt\_101* = tamanho dos traços para sujeitos treinados no centésimo primeiro *kanji*; *at\_101* = alinhamento dos traços para sujeitos treinados no centésimo primeiro *kanji*; *it\_101* = inclinação dos traços para sujeitos treinados no centésimo primeiro *kanji*).

Fonte: Autor, (2019)

Tais correlações significantes podem ser uma evidência de que a avaliação qualitativa realizada a partir da matriz proposta está em consonância com a avaliação cinemática (quantitativa).

Destacam-se as duas correlações significantes e negativas associadas à velocidade média, para sujeitos não treinados ( $Rho = -0,783$ , sig. = 003) e treinados ( $Rho = -0,832$ , sig. = 0,001) em relação ao tempo dos traços. Uma possível implicação deste fato é que um eventual aumento na velocidade média de execução de um traço, acarreta uma diminuição na avaliação qualitativa do tamanho do mesmo, corroborando estudos de Voicu e Mauk (2019); Yamagata, Falaki e Latash (2018) e Asadi-Eydivand (2015).

É bastante evidente que uma criteriosa avaliação qualitativa de uma tarefa manipulativa esteja associada à sua avaliação biomecânica, não obstante, um dos desafios metodológicos da presente pesquisa emergiu do questionamento: *como associar o quali com o quanti? Como elaborar uma possível e plausível leitura da complexidade de uma tarefa manipulativa?* Para tentar responder a estas questões, optou-se pela definição de duas matrizes, uma com variáveis da avaliação qualitativa e outra para as variáveis quantitativas que serão apresentadas e discutidas a seguir. Ambas as matrizes, continham dados relativos a todos os doze traços que compõem o *kanji*; uma matriz **A**(12x4) e uma matriz **B**(4x12).

**Matriz A: (espaço, tamanho, alinhamento, inclinação) x 12 traços**

$$\begin{bmatrix} 9.400 & 5.930 & 2.220 & 2.240 & 2.880 & 5.290 & 3.210 & 3.940 & 3.460 & 1.410 & 1.770 & 1.680 \\ 7.000 & 7.067 & 6.667 & 6.667 & 7.067 & 7.067 & 6.933 & 6.533 & 6.133 & 6.267 & 6.000 & 6.000 \\ 6.533 & 6.200 & 6.133 & 5.933 & 6.333 & 6.200 & 5.933 & 5.867 & 5.733 & 5.667 & 5.667 & 5.533 \\ 6.400 & 5.933 & 6.000 & 5.867 & 6.133 & 6.133 & 5.867 & 5.933 & 5.800 & 5.667 & 5.667 & 5.600 \end{bmatrix}$$

Fonte: Autor, (2019)

**Matriz B: 12 traços x (tempo, tamanho, alinhamento, inclinação)**

$$\begin{bmatrix} 6.320 & 7.000 & 6.533 & 6.400 \\ 2.480 & 7.067 & 6.200 & 5.933 \\ 1.210 & 6.667 & 6.133 & 6.000 \\ 1.110 & 6.667 & 5.933 & 5.867 \\ 2.290 & 7.067 & 6.333 & 6.133 \\ 2.190 & 7.067 & 6.200 & 6.133 \\ 2.220 & 6.933 & 5.933 & 5.867 \\ 1.910 & 6.533 & 5.867 & 5.933 \\ 1.450 & 6.133 & 5.733 & 5.800 \\ 1.650 & 6.267 & 5.667 & 5.667 \\ 0.830 & 6.000 & 5.667 & 5.667 \\ 0.780 & 6.000 & 5.533 & 5.600 \end{bmatrix}$$

Fonte: Autor, (2019)

A matriz **A** é composta por quatro linhas referentes à variável quantitativa (espaço percorrido) e as variáveis qualitativas (tamanho, alinhamento e inclinação dos traços), e doze colunas referentes aos doze traços utilizados na escrita do *kanji*. Por sua vez, a matriz **B** é composta por 12 linhas referentes a cada traço e quatro colunas com os dados qualitativos e quantitativo de cada um dos traços (tempo, tamanho, alinhamento e inclinação dos mesmos).

Foi calculado o produto entre ambas as matrizes, resultando em uma matriz **A\*B**, composta por quatro linhas e quatro colunas. Esta matriz **A\*B** sintetiza a complexa interação entre todos os dados, quantitativos e qualitativos, envolvendo todos os traços, portanto, cada resultado contido nesta matriz reporta o impacto que um conjunto de variáveis quali-quantitativas possui na realização do *kanji*.

**Matriz A\*B**

$$\begin{bmatrix} 122,242 & 293,931 & 265,432 & 261,618 \\ 165,656 & 527,361 & 475,899 & 470,654 \\ 149,812 & 475,899 & 429,814 & 425,151 \\ 147,599 & 470,654 & 425,151 & 420,662 \end{bmatrix}$$

Fonte: Autor, (2019)

Por exemplo, ao observar a matriz **A\*B** constata-se que o maior valor na mesma é 527,361 e o menor valor é 122,242. A pergunta óbvia é: qual o significado de cada um deles?

Sem a menor intenção de aprofundar em cálculos com matrizes e, exclusivamente, com o intuito de esclarecer o significado de tais resultados, por

exemplo, o maior valor da matriz **A\*B** (527,361) é resultado da soma do produto sequencial de cada dado da 2ª linha da matriz **A** (tamanho) por cada dado contido na segunda coluna da matriz **B** (tamanho), ou seja, este valor máximo é a soma de 12 multiplicações como é demonstrado abaixo:

$$527,361 = [(7,000 \times 7,000) + (7,067 \times 7,067) + (6,667 \times 6,667) + (6,667 \times 6,667) + (7,067 \times 7,067) + (7,067 \times 7,067) + (6,933 \times 6,933) + (6,533 \times 6,533) + (6,133 \times 6,133) + (6,267 \times 6,267) + (6,000 \times 6,000) + (6,000 \times 6,000)].$$

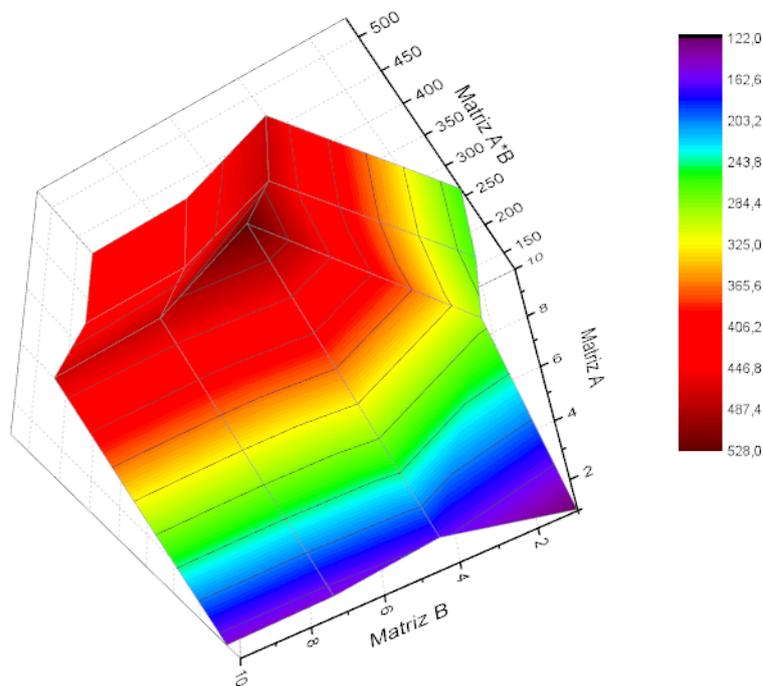
Não é uma mera coincidência que o maior resultado tenha sido fruto da interação *tamanho x tamanho*, afinal, na perspectiva de nossa história filogenética o tamanho dos objetos, por exemplo, animais (predadores e predados), rios (largura e profundidade), edifícios (altos e baixos), altura do sarrafo (alto e baixo), estatura das pessoas, entre outros, é fator fundamental para certas decisões a serem tomadas pelo ser humano em determinados contextos ou situações.

Na mesma matriz **A\*B** constata-se que o menor valor (122,242), na associação entre ambas, é fruto da interação espaço\*tempo (variáveis cinemáticas, que, portanto, precisam de instrumentos para serem medidas) que na presente pesquisa não apresentaram magnitudes médias, maiores que a percepção de tamanho do traço (qualitativa) do avaliador.

Tal matriz permite a construção de uma topografia resultante da interação de dados quali-quantitativos, presentes nesta pesquisa.

No gráfico tridimensional mostrado na sequência, observa-se no plano formado pela matriz **A** e **B** o relevo da matriz **A\*B** no eixo perpendicular ao referido plano; onde as cores vão do violeta (para menores valores), até o vermelho escuro (para maiores valores). Tal gráfico mostra um conjunto de complexas interações, entre variáveis qualitativas e quantitativas inerentes à análise do movimento humano.

**Gráfico 4 – Topografia tridimensional da matriz quali-quantitativa da avaliação tarefa manipulativa.**



Fonte: Autor, (2019)

Observa-se no mesmo gráfico que na Matriz **A\*B** as interações iniciais começam (1ª coluna) com magnitudes menores, estas interações aumentam até atingir o pico já discutido e em seguida tendem a diminuir como mostram os valores na última linha da matriz **A** e última coluna da matriz **B**, ambas com um total de dezesseis dados inferiores a 6,000.

A seguir serão apresentados e discutidos como os resultados quantitativos já apresentados e discutidos podem ser modelados a partir de estudos de Hebb, Albus e Marr, na tentativa de explicar matematicamente o aprendizado cerebelar.

Uma questão central no modelo Hebb - Albus - Marr, segundo Vilela Junior (2018), refere-se ao tipo de aprendizagem, considerado específico do cerebelo, quando comparado com outras estruturas do SNC.

Classicamente são considerados três tipos de aprendizagem:

- 1) **A aprendizagem não supervisionada**, que ocorre a nível de córtex cerebral e suas vias neuronais com cerebelo, tálamo e gânglia basal. Trata-se de um aprendizado do tipo entrada e saída, ou seja, não existe

nele o aprendizado por erro. Portanto, é mais comum em habilidades que já estejam no chamado estágio autônomo, com alta eficiência, baixíssima incidência de erros. Por exemplo, um jogador de basquete da liga profissional norte americana, é muito improvável que ele erre uma cobrança de um lance livre, uma vez que seu córtex motor já tem consolidada uma rede neural altamente especializada, para este tipo de movimento.

- 2) **A aprendizagem por reforço**, como o próprio nome sugere, refere-se ao aprendizado fruto de sucessos na execução da tarefa que ocorre em tempo real, a partir de um modelo de programação dinâmica. Também é do tipo estímulo – resposta (entrada – saída), sendo uma maneira de se aprender que remonta a história filogenética humana e a interação dos humanos com o ambiente, usualmente ligados a um reforço diante de uma resposta, por exemplo, um sujeito que frequenta uma academia de ginástica e é frequentemente elogiado pelos resultados obtidos, por questões relacionadas à sua saúde, ou valores estéticos, provavelmente, tenderá a repetir seu comportamento, treinando assiduamente e assim, continuar a receber os elogios. Ocorre a nível de gânglia basal e suas associações com o tálamo e córtex cerebral, portanto, não possui conexão direta com o cerebelo, segundo Morimoto; Doya (2001).
- 3) **A aprendizagem supervisionada**, característica do cerebelo que aprende processualmente com os erros, através da codificação destes que retroalimentam e consolidam o aprendizado. Por exemplo, a escrita do *kanji nô* para o grupo experimental na presente pesquisa, durante o treinamento, da primeira à centésima primeira execução do mesmo, o cerebelo dos sujeitos, identificaram erros e tentavam não os repetir nas execuções subsequentes. Neste tipo de aprendizagem existe um objetivo claramente posto (a escrita do *kanji* da melhor maneira possível) e durante cada execução esteve presente a supervisão para não incidência de erros já cometidos anteriormente. É especificamente, neste tipo de aprendizagem que o modelo **HAM** foi desenvolvido.

A seguir serão apresentadas, de forma sintética, as equações que nortearam os resultados para o modelo **HAM**, a partir dos dados cinemáticos coletados.

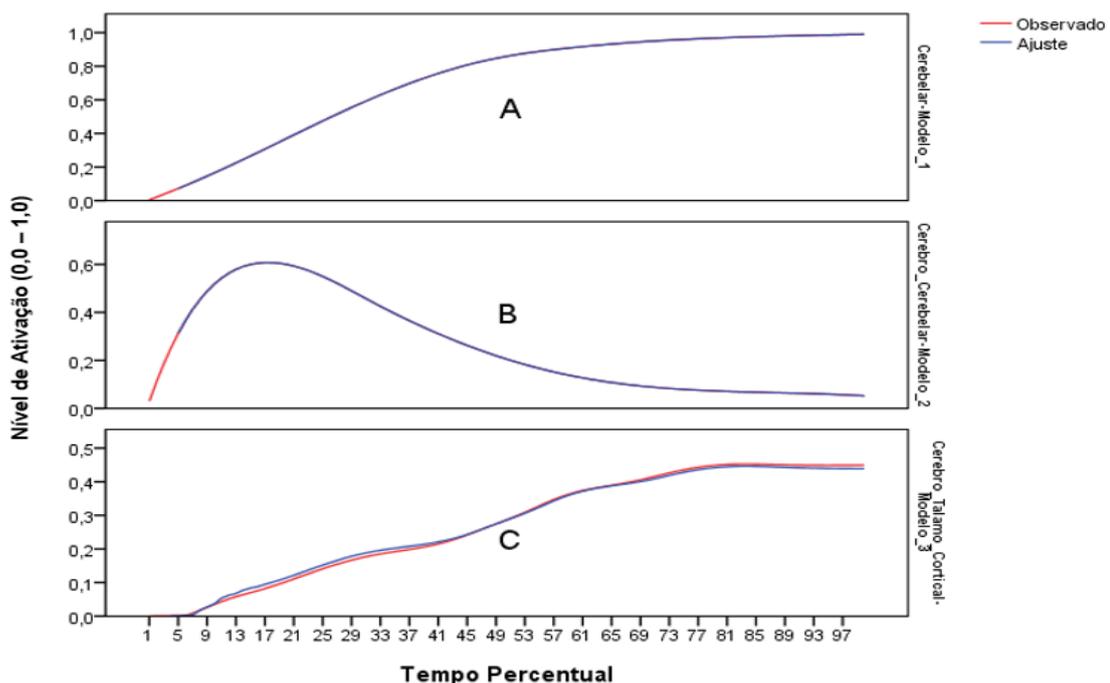
$$\mathbf{O} = \mathbf{J}(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{V}_c = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial t} & \frac{\partial x_2}{\partial t} \\ \frac{\partial v_1}{\partial t} & \frac{\partial v_2}{\partial t} \\ \frac{\partial \eta_1}{\partial t} & \frac{\partial \eta_2}{\partial t} \end{bmatrix}$$

No modelo **HAM**, **O** é a matriz de saída escrita em função da jacobiana (**J(x)**) e da matriz de comando (**V<sub>c</sub>**); **x** é o espaço percorrido durante a execução do kanji na quinquagésima e centésima primeira vez, **η** é o parâmetro de controle dos pesos da atividade neuronal das três vias deste modelo, discutidas na revisão da literatura (VILELA JUNIOR, 2018 ; LATASH, 2007).

As derivadas parciais presentes na matriz, referem às situações 1 e 2 da coleta de dados cinemáticos de todos os traços do kanji.

O resultado obtido para as três vias do modelo **HAM** para o presente conjunto dados estão sintetizadas no gráfico 5, corroborando o com os postulados do mesmo.

**Gráfico 5 - A: Cerebelar; B: Cérebro-Cerebelar; C: Cérebro-Tálamo-Cortical – As Três Vias Cerebelares do Modelo HAM**



No gráfico 5A observa-se a via cerebelar do modelo HAM, que inicia com taxa de crescimento linear até 41% do tempo de treinamento com nível de ativação que cresce proporcionalmente até 0,8 (onde 1,0 é o máximo de ativação de uma via neuronal qualquer), na sequência ocorre um incremento que converge numa assíntota horizontal com tendência a 1,0, até 97% do tempo de treinamento. Pode-se notar no gráfico o valor observado (linha azul) e seu ajuste (linha vermelha). Tal concordância foi obtida, com erro padrão de 0,075 e significância de 0,000. Tais resultados corroboram o modelo HAM aqui utilizado e estão em concordância com estudos de Latash (2007); Marr (1969); Albus, (1971) e HEBB (1949), uma vez que apresentou  $R^2 = 0,992$ .

No gráfico 5B observa-se a via cérebro-cerebelar que durante o processo de aprendizagem atinge pico de ativação de 0,6 por volta de 17% do tempo de treinamento, em seguida declinando em uma assíntota horizontal, tendendo a 0,0 até 97% do tempo de treinamento. Observou-se um erro padrão para essa via de 0,102 e significância de 0,002. Observa-se no gráfico o valor observado (linha azul) e seu ajuste (linha vermelha). Tais achados, também corroboram conforme estudos de Albus (1971); Crépel, Daniel e Levenes (1998); Oyama et al. (2001) e Schweighofer, Arbib e Kawato (1998), uma vez que apresentou  $R^2 = 0,966$ .

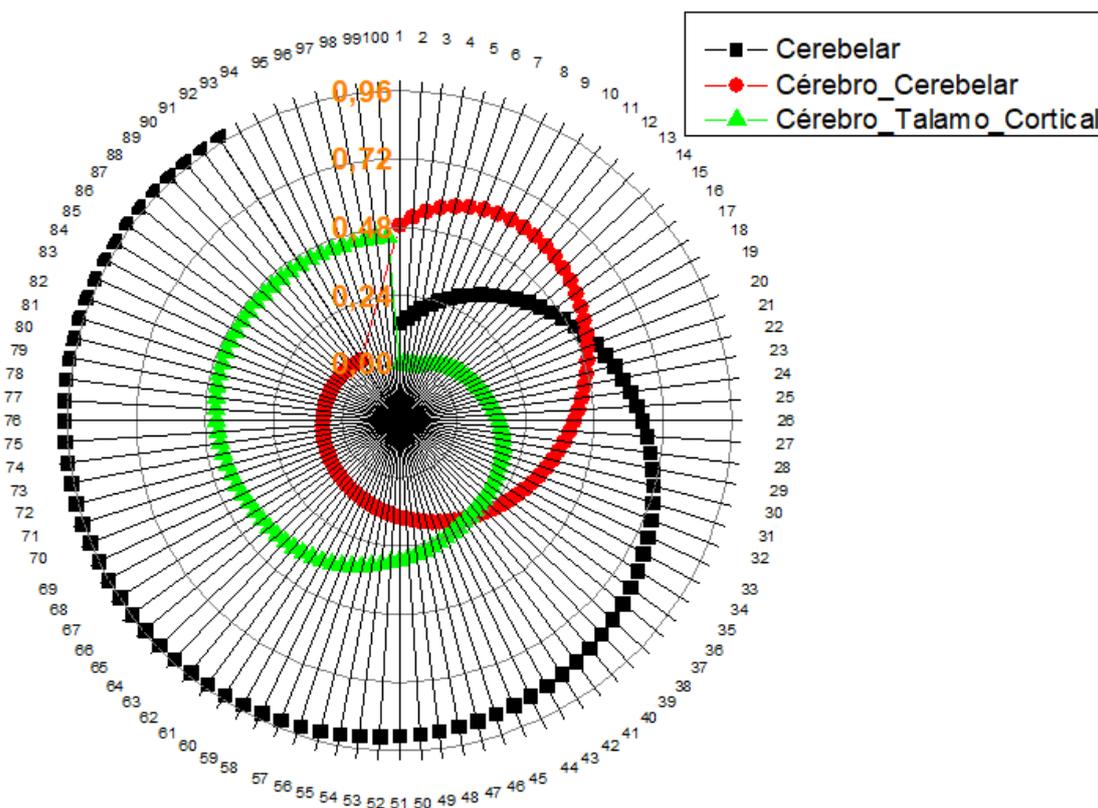
O gráfico 5C mostra como varia o nível de ativação da via cérebro-tálamo-cortical no modelo HAM, constata-se que a mesma apresenta um atraso na ativação, ligeiramente superior a 5% do tempo de treinamento, a partir daí aumentando de maneira linear até 77% do tempo de treinamento, atingindo pico de 0,4 seguido por uma assíntota horizontal que tende a se estabilizar neste mesmo valor. Pode se observar, também no gráfico, o valor observado (linha azul) e seu ajuste (linha vermelha). Observou-se nessa via um erro padrão de 0,076 e significância de 0,000. Tais resultados, também estão em concordância com estudos de Frolov et al. (2000); Albus (1971); Marr (1969) e Ito (1984), uma vez que apresentou  $R^2 = 0,993$ . Para obtenção matemática e adequação dos resultados para cada uma das vias, utilizou-se uma ARIMA (integração auto regressiva de médias móveis), utilizada para modelamento de séries temporais.

É importante destacar que a ativação dessas três vias do modelo HAM ocorrem simultaneamente durante todo processo de aprendizagem, cada uma delas assumindo pesos diferentes à medida que o treinamento se consolida.

Constata-se que a via cérebro-cerebelar funciona como um “motor de arranque” nesse processo, uma vez que atinge um pico de ativação em 17%, que é duas vezes mais intenso que a via cerebelar e seis vezes maior que a via cérebro-tálamo-cortical no mesmo instante. Tal fato é decorrente, provavelmente, da importância da memória de curta duração, característica da mesma, onde os sujeitos precisavam recorrer ao *feedback* visual do *kanji* várias vezes, para assim executá-lo.

A partir do gráfico 6 pode-se observar a numeração de 1 a 100 no sentido horário, referente ao percentual do processo de consolidação da aprendizagem motora no modelo HAM.

**Gráfico 6 - Intersecções das três vias cerebelares do modelo HAM.**



Fonte: Autor, (2019)

Destaca-se que nestas três vias o cerebelo é considerado o principal *locus* da aprendizagem motora, apesar da evidência da neuroplasticidade inerente à complexidade de tal processo.

A importância deste gráfico é que o mesmo mostra as intersecções das

três vias cerebelares e como cada uma delas se comportam ao longo da consolidação da aprendizagem. Por exemplo, por volta de 19-20% do processo de aprendizado, as vias cerebelar e cérebro-cerebelar apresentam o mesmo nível de ativação aproximadamente 0,48 em uma escala de 0,0 a 1,0. Já as vias cérebro-cerebelar e cérebro-tálamo-cortical, possuem o mesmo nível de ativação (~0,24) por volta de 41-42% do processo de aprendizado.

Tais resultados permitem concluir que na metade do processo de consolidação de aprendizagem, a via cerebelar já é protagonista com 0,8 pontos de ativação, enquanto a cérebro-tálamo-cortical atinge 0,3 pontos e a cérebro-cerebelar 0,2 pontos; é importante destacar que tais números se referem exclusivamente ao nível de ativação de cada uma delas, em uma escala de 0,0 a 1,0 e assim, a somatória das três vias podem ser superior a 1,0 no mesmo instante, ou seja, no quinquagésimo *kanji* executado, a somatória das três vias resulta em:  $0,8 + 0,3 + 0,2 = 1,3$ ; o que é de suma importância pois, na eventualidade de uma lesão em uma destas vias, a redundância das mesmas, permite que as outras, via neuroplasticidade, se reorganizem e assumam maior relevância em um eventual reaprendizado de uma tarefa motora qualquer (LI e LEONG, 2001; SEIDLER, NOLL e THIERSA, 2004; VOICU e MAUK, 2019).

É provável que a maior contribuição do modelo HAM seja a facilidade e a confiabilidade que o mesmo tem, para a compilação e o desenvolvimento de algoritmos de inteligência artificial para analisar padrões de movimento, inclusive reconhecer expressões faciais características de diferentes emoções, como espanto, raiva, medo, alegria dentre outras.

## 5 - Considerações Finais

Esta pesquisa teve em sua origem o enfrentamento epistemológico da complexidade, onde escolhas metodológicas tiveram que ser realizadas, não através da mera negação das estratégias, ditas reducionistas, e sim, através de um esforço de aproximação entre a avaliação qualitativa e quantitativa de uma tarefa manipulativa, no caso, a escrita do *kanji* *Nô*.

O desenvolvimento e validação do PAN (Programa de Avaliação Neuromotora) se consolidou através da combinação da elaboração de uma matriz de avaliação qualitativa dos *kanjis* realizados pelos sujeitos de ambos os grupos e da análise cinemática dos mesmos.

A integração quali-quantitativa foi possível com a elaboração de um modelo matemático, capaz de ponderar a interação entre estas variáveis de natureza diferentes, cuja a avaliação qualitativa depende da percepção e do rigor do avaliador durante o processo de coleta dos dados, ao passo que a avaliação quantitativa (no caso cinemática), depende dos materiais e procedimentos de análise do movimento analisado a partir de cálculos biomecânicos. Assim, foi possível a construção da topografia desta análise quali-quantitativa.

Finalmente, foi corroborado o Modelo HAM, para as três vias cerebelares contidas no mesmo, através do modelamento temporal dos escores quali-quantitativos, obtidos no processo de treinamento para os sujeitos que realizaram o treinamento da tarefa, com valores significantes em cada uma das vias neuronais de referido modelo.

Portanto, a hipótese da presente pesquisa foi confirmada, uma vez que foram alcançados os objetivos propostos e os resultados encontrados para esta amostra, foi suficiente para atestá-la.

O modelo de HAM foi escolhido pois é considerado o mais eficiente para o desdobramento natural da presente pesquisa: a utilização da inteligência artificial, houve, portanto, uma clara intencionalidade na escolha do mesmo em função dos aperfeiçoamentos vindouros que sempre são bem-vindos em toda pesquisa.

## 6 - Referências

ABBOTT, L.F. Realistic synaptic inputs for model neural networks. **Network**, 2:245-258, 1991.

ABBOTT, L. F.; BLUM, K. I. Functional significance of long-term potentiation for sequence learning and prediction. **Cereb. Cortex**, 6:406-416, 1996.

ALBUS, J.S. A theory of cerebellar function. **Mathematical biosciences**. 10, 25-61, 1971.

ALVES, B. M. O.; et al. Postural control analysis during a standardized kick task in soccer athletes. **Rev Bras Med Esporte**. v. 24, n 2 – Mar/Abr, 2018.

ASADI-EYDIVAND, M. Cerebellum-inspired neural network solution of the inverse kinematics problem. **Biol Cybern**. 109:561–574, 2015.

ARAZI, H.; RASHIDLAMIR, A.; ABOLHASANI, M. Z.; HOSAINI, S. A. Profiling and predicting performance of indoor rock climbers. **Revista Brasileira Cineantropom Desempenho Hum**. 20(1):82-94, 2018.

BARCELOS, B. B.; TEIXEIRA, L. P.; LARA. S. Analysis of the postural balance and knee isokinetic muscle strength of female futsal players. **Revista Fisioter Pesqui**. 25(1):28-34, 2018.

BETHGE, M.; PAWELZIK, K.; ROTHENSTEIN, R.; TSODYKS, M. Noise as a signal for neuronal populations. **Phys. Rev. Lett**, 2001.

BI, G.; POO, M. Synaptic modification of correlated activity: Hebb's postulate revisited. **Ann. Rev. Neurosci.**, 24:139-166, 2001.

BISQUERRA, R.; SARRIERA, J.C.; MARTINEZ, F. **Introdução a estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

BRITAIN, J.S.; BROWN, P. **Oscillations and the basal ganglia: Motor control and beyond**. n.85, pp. 637 – 647. Amsterdam: Elsevier, 2014.

BUDE, H. et al. Neuroscience of Exercise: Neuroplasticity and Its Behavioral Consequences. **Neural Plasticity**, 2016.

BUSCHGES, A., SCHOLZ, H., EI MANIRA, A. New moves in motor control. **Current Biology**. 21: 513–524, 2011.

BUTCHER, P.A., et al. The cerebellum does more than sensory prediction error-based learning in sensorimotor adaptation tasks. **J Neurophysiol**, 118: 1622 – 1636, 2017.

CHABROL, F.; BLOT, A.; MRSIC-FLOGEL, T.D. Cerebellar contribution to preparatory activity in motor neocortex. **bioRxiv preprint first posted online**. May, 2018.

CHOW, C.C.; KOPELL, N. Dynamics of spiking neurons with electrical coupling. **Neural Comput.**, 12:1643-1678, 2000.

CLEMENTE, F. et al. Intraneural sensory feedback restores grip force control and motor coordination while using a prosthetic hand. **Journal of Neural Engineering**. V.16,n. 2, 2019.

COHEN J. Things I have learned (so far). **Am Psychol.**;45:1304–1312, 1990.

CRÉPEL, F.; DANIEL, H.; LEVENES, C. Cellular mechanisms of cerebellar LTD. **Trends in Neurosci**. 21: 401-407, 1998.

DANIEL, H.; BLOND, O.; JAILLARD, D.; CREPEL, F. Synaptic plasticity in the cerebellum. In Fazeli, M. S. and Collingridge, G. L., editors, **Cortical Plasticity, LTP and LTD**, chapter 10. BIOS Scientific Publishers Ltd., Oxford, 1996.

DUFFAU, H. Brain plasticity: from pathophysiological mechanisms to therapeutic applications. **J. Clin. Neurosci**. 13, 885–97, 2006.

EGGERT, J; VAN HEMMEN, J.L. Modeling neuronal assemblies: theory and implementation. **Neural Computation**, 13:1923-1974, 2001.

ERMENTROUT, G.B.; PASCAL, M.; GUTKIN, B. The effects of spike frequency adaptation and negative feedback on the synchronization of neuronal oscillators. **Neural Comput.**, 13:1285-1310, 2001.

FLAMENT, D.; ELLERMAN, J.M.; KIM, S.G.; UGURBIL, K.; EBNER, T.J. Functional Magnetic Resonance Imaging of Cerebellar Activation During the Learning of a Visuomotor Dissociation Task. **Human Brain Mapping**, 4:210-226, 1996.

FLASH, T.; SEJNOWSKI, T.J. Computational approaches to motor control. **Current Opinion in Neurobiology**, 11:655–662. 2001.

FLORINDO, M.; PEDRO, R. The motor learning process and the neuroplasticity. **Revista de Ciências da Saúde da ESSCVP**, v.6, 2014.

FREUDENHEIM, A.M. Estabilidade e variabilidade na aquisição de habilidades motoras. In. **Comportamento Motor, Aprendizagem e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 117–127, 2006.

FRISTON, K. What Is Optimal about Motor Control? **Neuron** 72, November 3, 2011.

FROLOV, A.A. et al. On the possibility of linear modelling the human neuromuscular apparatus. **Biol. Cybern.** 82(6): 499-515, 2000.

GOLOMB, D.; ERMENTROUT, G.B. Bistability in pulse propagation in networks of excitatory and inhibitory populations. **Physical Review Letters**, 86:4179-4182, 2001.

GRAVENHORST, R.M.; WALTER, C.B. Cognitive mechanisms of visuomotor transformation in movement imitation: Examining predictions based on models of apraxia and motor control. **Brain and Cognition** 71: 118–128, 2009.

HANSEL, D.; MATO, G. Existence and stability of persistent states in large neuronal networks. **Phys. Rev. Lett.**, 86:4175-4178, 2001.

HEBB, D. O. **The organization of behavior**. Wiley, New York, 1949.

HIRSCHFELD, H. Motor control of every day motor tasks: Guidance for neurological rehabilitation. **Physiology & Behavior**, 92: 161–166, 2007.

HOLTROP, J.L. et al. Investigating Age-related changes in fine motor control across different effectors and the impact of white matter integrity. **NeuroImage**, 96: 81–87, 2014.

ITO, M. **The Cerebellum and Neural Control**. Raven Press, New York, 1984.  
 JAPIASSU, H. **Interdisciplinaridade e patologia do saber**. Rio de Janeiro, Imago, 1976.

KEMPTER, R.; GERSTNER, W.; VAN HEMMEN, J.L. Intrinsic stabilization of output rates by spike-based hebbian learning. **Neural Comput.**, 2001.

KISTLER, W.M.; DE ZEEUW, C.I. Dynamical working memory and timed responses: The role of reverberating loops in the olivo-cerebellar system. **Neural Comput.** Volume 14, Issue 11, November 2002 p.2597-2626, 2002.

KOPP, S.; BECKUNG, E.; GILLBERG, C. Developmental coordination disorder and other motor control problems in girls with autism spectrum disorder and/or attention-deficit/ hyperactivity disorder. **Research in Developmental Disabilities**; 31: 350–361. 2010.

KORDELAAR, J.V.; WEGEN, E.V.; KWAKKEL, G. Impact of Time on Quality of Motor Control of the Paretic Upper Limb After Stroke. **Physical Medicine and Rehabilitation**; 95:338-44, 2014.

LAKATOS, E.M., MARCONI, M.A. **Fundamentos da metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

LATASH, M.L.; SCHOLZ, J.P.; SCHONER, G. **To ward a new theory of motor synergies**. *Motor Control* 11:275-307, 2007.

LATASH, M.L. **Bases Neurofisiológica do Movimento**. Tradução Grace Kawali. 1 ed. – São Paulo: Phorte, 2015.

LI, Y.; LEONG, S. H. Kinematics Control of Redundant Manipulators. **The 5th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics**. Orlando, U.S.A, 2001.

LOKESH, R.; RANGANATHAN, R. Differential control of task and null space variability in response to changes in task difficulty when learning a bimanual steering task. **Experimental Brain Research**, 2019.

MACHADO, A.B.M.; HAERTEL, L.M. **Neuroanatomia Funcional**. Atheneu, São Paulo, 3ed., 2014.

MARQUES, I; CASTRO, V.M.A.; LIMA, D.A. Efeito da forma, do tamanho e da textura de objetos na habilidade manipulativa de crianças com Síndrome de Down. **Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 71-86, ago. 2014.

MANOEL, E.J.; BASSO, L. Modularidade, hierarquia e adaptação no comportamento motor. In. **Comportamento Motor, Aprendizagem e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 235–248, 2005.

MANUEL, A.L. et al. Resting-state connectivity predicts visuo-motor skill learning. **NeuroImage** 176: 446–453, 2018.

MORIMOTO, J.; DOYA, K. Acquisition of stand-up behavior by a real robot using hierarchical reinforcement learning. **Elsevier**, v. 36, 37-51, 2001.

MARR, D. A theory of cerebellar cortex. **Journal Physiology**. 202, 437-470, 1969.

MEEHAN, S.K. Continuous theta burst stimulation over the contralesional sensory and motor cortex enhances motor learning post-stroke. **Neuroscience Letters**; 500: 26– 30, 2011.

MEYER, C.; VAN VREESWIJK, C. Temporal correlations in stochastic networks of spiking neurons. **Neural Comput**. Volume 14, Issue 2. February 2002 p.369-404, 2001.

MITOMA, H.; MANTO, M.; HAMPE, C.S. Time Is Cerebellum. **Cerebellum** 17:387–391, 2018.

NARO, A.; et al. What Do We Know About the Influence of the Cerebellum on Walking Ability? Promising Findings from Transcranial Alternating Current Stimulation. **Cerebellum**, 2017.

OLIVEIRA, H. F. R et al. QVT-25: Construção e Validação de um Instrumento de Avaliação da Qualidade de Vida no Trabalho. **Revista CPAQV – Centro de Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida**. Vol. 9, Nº. 1, 2017.

OLIVEIRA, H. F. R. **Criação, desenvolvimento e validação do Cloud Solution Hergos®: qualidade de vida do colaborador**. Tese (Doutorado em Ciências do Movimento Humano) – Universidade Metodista de Piracicaba. Piracicaba, p.218. 2017.

OYAMA, E. et al. Coordination transformation learning of hand position feedback controller with time delay. **Neurocomputing**, 38-40: 1503-1509, 2001.

PEH, S.Y.C.; CHOW, J.Y.; DAVIDS, K. Focus of attention and its impact on movement behaviour. **Journal of Science and Medicine in Sport**; 14:70–78, 2011.

PETERBURS, J. et al. The role of the cerebellum for feedback processing and behavioral switching in a reversal-learning task. **Brain and Cognition** 125: 142–148, 2018.

PATEL, P.; ZABLOCKI, V.; LODHA, N. Bimanual force control differs between increment and decrement. **Neuroscience Letters**. V. 701, 2019.

RAO, R.P.N.; SEJNOWSKI, T.J. Spike-timing dependent Hebbian plasticity as temporal difference learning. **Neural Comput.**, 13:2221-2237, 2001.

SAMPEDRO-PIQUERO, P.; SANTÍN, L. J.; CASTILLA-ORTEGA, E. Aberrant Brain Neuroplasticity and Function in Drug Addiction: A Focus on Learning-Related Brain Regions. **Behavioral Neuroscience**, 2019.

SARASSO, E. et al. Brain motor functional changes after somatosensory discrimination training. **Brain Imaging and Behavior**. V. 12, 2018.

SCHWEIGHOFER, N.; ARBIB, M.A.; KAWATO, M. Role of cerebellum in reaching movements in humans. II. A neural model of the intermediate cerebellum. **Europ. J. Neurosci**. 10: 95-105, 1998.

SEIDLER, R.D., NOLL, D.C., THIERSA, G. Feedforward and feedback processes in motor control. **NeuroImage**, 22, 1775–1783, 2004.

SHIH, C.H. Using an Extended Dynamic Drag-and-Drop Assistive Program to assist people with multiple disabilities and minimal motor control to improve computer Drag-and-Drop ability through a mouse wheel. **Research in Developmental Disabilities**, 33: 621–629, 2012.

SLAPIK, M.; et al. Visuospatial Organization and Recall in Cerebellar Ataxia. **The Cerebellum**, 2018.

STATTON, M.A.; et al. Making Sense of Cerebellar Contributions to Perceptual and Motor Adaptation. **Cerebellum**, 2017.

STREINER, D. L. Being inconsistent about consistency: when coefficient alpha does and doesn't matter. **Journal of Personality Assessment**. v. 80, p. 217-222. 2003.

STRENG, M.L.; POPA, L.S.; EBNER, T.J. Complex Spike Wars: a New Hope. **The Cerebellum**, 17:735–746, 2018.

TACHIBANA, R.O.; YANAGIDA, M.; RIQUEMAROUX, H. Novel approach for understanding the neural mechanisms of auditory-motor control: Pitch regulation by finger force. **Neuroscience Letters**; 482: 198–202, 2010.

TARKKONEN, L., et al. Effects of measurement errors in predictor selection of linear regression model. **Elsevier Science**, 2006.

VAN ROSSUM, M.C.W.; BI, G.Q.; TURRIGIANO, G.G. Stable Hebbian learning from spike timing-dependent plasticity. **J. Neurosci.**, 20:8812-8821, 2000.

VILELA JUNIOR, G.B. **Importância do Cerebelo na Aprendizagem Motora**. In <http://www.cpaqv.org/aprendizagem/aula02.pdf>, 2014. Acesso em 05/07/2018.

VILELA JUNIOR, G.B.; et al. Quality of Life Under the Perspective of Complexity. In: Maciel, E. S.; Sonati, J.G... (Org.). **Quality of Life and Public Health: Assessment and Intervention**. 1ed.New York: Nova Publishers, 2015.

VILELA JUNIOR, G.B. Modelo Hebb-Albus-Marr, controle neuromotor e cerebelo. **Revista CPAQV**. v10 , n3, 2018.

VOICU, H.; MAUK, M.D. No neuron is an island: Homeostatic plasticity and over-constraint in a neural circuit. **Neurobiology of Learning and Memory**, 2019.

XIE, X.; SEUNG, S. Spike-based learning rules and stabilization of persistent neural activity. In Solla, S. A., Leen, T. K., and Müller, K.-R., editors, **Advances in Neural Information Processing Systems 12**, page xx. MIT-Press, Cambridge, 2000.

WAINWRIGHT, S. R.; GALEA, L. A. M. The Neural Plasticity Theory of Depression: Assessing the Roles of Adult Neurogenesis and PSA-NCAM within the Hippocampus. **Neural Plasticity**, 2013.

WEEKS, H.M.; THERRIEN, A.S.; BASTIAN, A.J. Proprioceptive Localization Deficits in People With Cerebellar Damage. **Cerebellum**,16:427–437, 2017.

YAMAGATA, M.; FALAKI, A.; LATASH, M. L. Effects of Voluntary Agonist–Antagonist Coactivation on Stability of Vertical Posture. **Human Kinetics**, 2018.

## ANEXOS

## Anexo I – Certificado do CEP

 <b>UNIMEP</b> Universidade Metodista de Piracicaba	Comitê de Ética em Pesquisa CEP-UNIMEP
<i>Certificado</i>	
<p>Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado “<b>Criação, desenvolvimento e validação do software: programa de avaliação neuromotora - PAN</b>”, sob o protocolo <b>nº 109/2015</b>, do pesquisador <b>Prof. Guanis de Barros Vilela Junior</b> esta de acordo com a Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde/MS, de 12/12/2012, tendo sido aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa – UNIMEP.</p>	
<p>We certify that the research project with title “<b>Creation, development and validation of software: program evaluation neuromotor - PAN</b>”, protocol <b>nº 109/2015</b>, by Researcher <b>Prof. Guanis de Barros Vilela Junior</b> is in agreement with the Resolution 466/12 from Conselho Nacional de Saúde/MS and was approved by the Ethical Committee in Research at the Methodist University of Piracicaba – UNIMEP.</p>	
Piracicaba, 27 de outubro de 2015	
 Profa. Dra. Daniela Faleiros Bertelli Merino Coordenadora CEP - UNIMEP	

## Anexo II

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE  
UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA-UNIMEP  
DOUTORADO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO**

**Pesquisa: “CRIAÇÃO, DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DO SOFTWARE:  
PROGRAMA DE AVALIAÇÃO NEUROMOTORA - PAN.”**

**Pesquisador responsável:** Prof. Dr. Guanis de Barros Vilella Júnior

Você está sendo convidado a participar como voluntário de um estudo intitulado: **Criação, desenvolvimento e validação de software: Programa de Avaliação Neuromotora– PAN**, que tem como objetivo criar um instrumento - Software Aplicativo com potencial aplicabilidade na avaliação, diagnóstico, prevenção e reabilitação de patologias neuromotoras. Para tanto, a sua participação nesta pesquisa é importante à medida que permitirá ao pesquisador avaliar a sua capacidade neuromotora. Esta coleta de dados ocorrerá mediante a execução de tarefas manipulativas simples. A sua participação na pesquisa é voluntária e você é livre para interromper sua participação a qualquer momento. Não haverá custo a você relacionado aos procedimentos previstos no estudo. Sendo assim, sua participação é voluntária. Portanto, você não será pago por sua participação neste estudo. Essa pesquisa está sendo realizada pelo pesquisador Prof. Ms. Gustavo Celestino Martins, sob orientação, supervisão e responsabilidade do Prof. Dr. Guanis de Barros Vilella Júnior.

Caso aconteça qualquer acidente, o que é minimamente possível, as providências serão tomadas de acordo com os procedimentos éticos de forma a garantir sua integridade física e psicológica.

Os resultados de todos os processos, etapas de avaliação, bem como conclusões finais do estudo serão disponibilizados a todos os voluntários participantes. Se houverem quaisquer dúvidas em relação aos procedimentos, etapas, ou resultados, as mesmas podem e devem ser esclarecidas pelo Prof. Ms. Gustavo Celestino Martins, tel.: (19) 99757-1704, e pelo Prof. Dr. Guanis de Barros Vilella Júnior, do programa de Doutorado em Ciências do Movimento Humano da Universidade Metodista de Piracicaba, São Paulo, nos tel: (19) 3124-1515 – Ramal 1239 e (19) 3124-1609 Todas as informações serão mantidas em sigilo e os dados serão utilizados apenas para fins didáticos e de pesquisa.



Prof. Dr. Guanys de Barros Vilela Júnior

Professor Responsável

Acredito ter sido suficientemente esclarecido a respeito das informações que foram lidas por mim, descrevendo o estudo que visa analisar capacidade neuromotora manipulativa. Os propósitos desse estudo, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes ficaram claros para mim. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesas e que tenho garantia do acesso aos dados da pesquisa quando julgar necessário. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e posso retirar meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidades, prejuízos ou perdas e se decidir desistir, informarei a pesquisador Prof. Ms. Gustavo Celestino Martins e/ou o professor Dr. Guanys de Barros Vilela Júnior.

“Eu \_\_\_\_\_, com massa de \_\_\_\_\_ kg, estatura \_\_\_\_\_ m, escolaridade \_\_\_\_\_, idade \_\_\_\_\_ anos, mão dominante \_\_\_\_\_, residente à \_\_\_\_\_, telefone: \_\_\_\_\_, declaro que tomei conhecimento do estudo e decidi dele participar, dando meu consentimento livre e esclarecido para efetuação do estudo”.

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido deste voluntário para a participação neste estudo.

\_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura do Colaborador

## ANEXO III

### Carta de aceite do capítulo “AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO CONTROLE NEUROMOTOR DE TAREFA MANIPULATIVA” no livro “EXERCÍCIO FÍSICO E ATIVIDADE FÍSICA NA PROMOÇÃO DA SAÚDE”.



Compartilhando informações e experiências  
por um mundo melhor!

## DECLARAÇÃO

Declaramos a quem possa interessar que o Professor GUSTAVO CELESTINO MARTINS é autor do capítulo “AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO CONTROLE NEUROMOTOR DE TAREFA MANIPULATIVA”, do livro intitulado “EXERCÍCIO FÍSICO E ATIVIDADE FÍSICA NA PROMOÇÃO DA SAÚDE”, ISBN: 978-85-444-3067-5 apreciado e aceito pelo nosso Conselho Editorial para publicação no ano de 2019.

Curitiba, 24 de janeiro de 2019.

Por ser verdade, assino

**Railson Moura**

CPF: 901.417.256-72

Editor-Chefe

Editora CRV Ltda.