



CLASSIFICAÇÃO DO DESEMPENHO DO ATLETA DE JUDÔ UTILIZANDO REGRESSÃO LOGÍSTICA E REDE NEURAL

Felipe Guimarães Teixeira

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Biomédica.

Orientadores: Jurandir Nadal
Roger Gomes Tavares de Mello

Rio de Janeiro

Março de 2019

CLASSIFICAÇÃO DO DESEMPENHO DO ATLETA DE JUDÔ UTILIZANDO
REGRESSÃO LOGÍSTICA E REDE NEURAL

Felipe Guimarães Teixeira

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA BIOMÉDICA.

Examinada por:

Prof. Jurandir Nadal, D.Sc.

Prof. Roger Gomes Tavares de Mello, D.Sc.

Prof. Carlos Gomes de Oliveira, D.Sc.

Prof. Renan Moritz Varnier Rodrigues de Almeida, PhD

Prof. Emerson Franchini, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2019

Teixeira, Felipe Guimarães

Classificação do desempenho do atleta de judô utilizando regressão logística e rede neural / Felipe Guimarães Teixeira.
– Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

X, 73 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Jurandir Nadal e Roger Gomes Tavares de Mello

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Biomédica, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 61-73.

1. Judô. 2. Perfil Atlético. 3. Redes Neurais Artificiais. 4. Regressão Logística. I. Nadal, Jurandir. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Biomédica. III. Título.

Agradecimentos

Primeiramente, ao meu orientador Jurandir Nadal, pela paciência nesses dez anos de convivência, conduzindo e orientando brilhantemente minha jornada acadêmica. Durante todo esse período, me fez perceber que a cobrança exarcebada nem sempre é o método ideal de orientação. Isso é demonstrado pela excelência dos alunos por ele formados e pelo grande, renomado e respeitado pesquisador que ele é. Obrigado por toda atenção mesmo nos momentos em que eu pareci displicente devido às adversidades da vida.

Ao meu amigo e também orientador Roger Mello, pelo apoio ininterrupto há mais de quinze anos. Por ter me apresentado à ciência e por ter se tornado uma inspiração na minha formação profissional. De grande influência nas minhas escolhas profissionais, antes de uma decisão eu penso “o que Roger faria?”. Profunda admiração pelo profissional, sobretudo pelo ser humano. Apesar da inteligência, dos títulos e das conquistas, se mantém humilde em qualquer circunstância. Um exemplo a ser seguido.

À minha esposa Natália, pela paciência, carinho e amor durante todo o doutorado. Por ser dura e verdadeira quando necessário. Por ser a única pessoa capaz de me acalmar e me mostrar de forma clara o melhor caminho a seguir. Por ser essa mulher maravilhosa, com uma inteligência multifacetada, motivo de inspiração e orgulho para mim. Por ser meu porto seguro e em todos os momentos de crise me ajudar a levantar e a recomeçar. Pelas nossas conversas sempre engradecedoras, por me fazer ver o mundo de forma diferente, mais leve, empática e justa. Obrigado meu amor, por você existir e ser essa pessoa incrível. Obrigada pelos nossos filhotes de quatro patas: Brigitte, Jovelina e Gregório.

Aos meus pais Zeca e Kátia pelo direcionamento e formação pessoal e profissional. Se eu sou o homem que sou hoje, com princípios e valores, é graças a vocês. A minha mãe, mulher trabalhadora, cuidadosa, organizada e perfeccionista em tudo que faz. Grande motivadora ao longo de todos esses anos vida e formação acadêmica. Obrigado por ser essa mãe maravilhosa! Ao meu pai, por me mostrar, em função de sua experiência com a minha avó, como a formação acadêmica engrandeceria minha profissão. Por ser meu maior exemplo. Pelo carinho de sempre. Pela confiança e apoio incondicionais. Por nunca me deixar desistir e por ser meu melhor amigo.

Ao meu irmão Dudu, por me apoiar e admirar. A admiração é cada vez mais recíproca. Você me orgulha e surpreende positivamente. Por muitas vezes, eu não quis te decepcionar e por isso não desisti. Junto com o meu pai, meu melhor amigo. Obrigado irmão!

A minha madrinha Nanci e minha prima Fernanda, por se preocuparem e estarem sempre na torcida pelo meu sucesso.

Ao meu amigo Paulo, por todo apoio e ajuda antes, durante e depois do doutorado. Mesmo do outro lado do oceano se fazia presente pela tela do computador. Sem você, meu grande amigo, dificilmente o meu doutorado teria chegado ao nível que chegou.

Ao meu amigo Lucenildo, por toda ajuda, parceria, amizade e diversão de sempre.

Ao meu aluno Heitor, pelo suporte durante o período de coleta.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

CLASSIFICAÇÃO DO DESEMPENHO DO ATLETA DE JUDÔ UTILIZANDO REGRESSÃO LOGÍSTICA E REDE NEURAL

Felipe Guimarães Teixeira

Março/2019

Orientadores: Jurandir Nadal

Roger Gomes Tavares de Mello

Programa: Engenharia Biomédica

O objetivo do estudo foi classificar os judocas em nível nacional e regional por meio da regressão logística (RL) e rede neural *multilayer perceptron* (MLP) utilizando dados antropométricos e biomecânicos, bem como o *special judo fitness test* (SJFT). 42 atletas de judô do sexo masculino de dois níveis competitivos (28 nacionais e 14 estaduais) foram submetidos às seguintes medições e testes: (a) dobras cutâneas; (b) circunferências; (c) diâmetros ósseos; (d) estabilometria; (e) SJFT; e (f) dinamometria. Os modelos RL e MLP foram empregados para classificar os dois níveis de atletas de judô. Antes de ajustar os modelos, o método forward stepwise foi aplicado para selecionar as variáveis que produziam o maior desempenho. Para reduzir ainda mais o número de variáveis, foi realizada uma análise combinatória sobre as variáveis previamente selecionadas. Os modelos RL e MLP apresentaram área sob a curva ROC 91,0% a 96,0% e 82% a 89%, respectivamente. As três variáveis que melhor classificaram os grupos foram diâmetro do epicôndilo umeral, número de arremessos realizados no SJFT e velocidade média do centro de pressão na direção látero-lateral. Esse estudo demonstrou que a RL e a MLP podem ser utilizados para classificar judocas de nível competitivo nacional e estadual, utilizando um conjunto reduzido de variáveis antropométricas, biomecânicas e o SJFT.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

CLASSIFICATION OF JUDO ATHLETE'S PERFORMANCE USING
LOGISTIC REGRESSION AND NEURAL NETWORK

Felipe Guimarães Teixeira

March/2019

Advisor: Jurandir Nadal

Roger Gomes Tavares de Mello

Department: Biomedical Engineering

The present study aims to classify judo athletes in national and regional levels using logistic regression (LR) and multilayer perceptron neural network (MLP) on anthropometric and biomechanical data, as well as the special judo fitness test (SJFT). 42 competitive two level judo male athletes (28 national and 14 state level) were submitted to the following measures and tests: (a) skinfold thickness; (b) circumferences; (c) bone widths; (d) stabilometric test; (e) SJFT; and (f) dynamometry. The RL and MLP models were used to classify the two levels of judo athletes. Before adjusting the models, the forward stepwise method was used to select the variables that produced the highest performance. To further reduce the number of variables, a combinatorial analysis was performed over the variables previously selected. The RL and MLP models presented area under ROC curve 91.0% to 96.0% and 82% to 89%, respectively. The three variables that best classified the groups were epicondylar humerus width, total number of throws on the SJFT, and stabilometric mean velocity of center of pressure in mediolateral direction. This study demonstrated that LR and MLP could be used to classify judo athletes from national and state competitive levels, using a reduced set of anthropometric, biomechanical, and SJFT variables.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	OBJETIVOS.....	4
1.1.1	Objetivo Geral	4
1.1.2	Objetivo Específico	4
1.1	HIPOTESES.....	4
2	REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO JUDÔ.....	6
2.2	PERFIL FÍSICO DO ATLETA DE JUDÔ E RELAÇÃO COM O DESEMPENHO	7
2.3	COMPOSIÇÃO CORPORAL.....	8
2.4	MANIFESTAÇÃO DE FORÇA MUSCULAR	13
2.4.1	Força de contração dinâmica	13
2.4.2	Força de contração estática	16
2.5	SPECIAL JUDÔ FITNESS TEST E PERFIL METABÓLICO	19
2.6	POSTURA E EQUILÍBRIO	26
2.7	MÉTODOS MULTIVARIADOS E SELEÇÃO DE VARIÁVEIS NO ESPORTE	31
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	34
3.1	CLASSIFICAÇÃO DE DADOS E ESTATÍSTICA MULTIVARIADA	34
3.2	REGRESSÃO LOGÍSTICA	34
3.3	REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	36
3.4	SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS	39
3.5	VALIDAÇÃO DO MODELO.....	40
3.5.1	Validação cruzada <i>K-fold</i>	40
3.5.2	<i>Leave-one-out</i>	40
3.5.3	<i>Bootstrap</i>	41
3.5.4	Avaliação dos modelos	41
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
4.1	CASUÍSTICA.....	43
4.2	INSTRUMENTAÇÃO	43
4.3	PROTOCOLO EXPERIMENTAL.....	44
4.3.1	Dia 1 (antropometria e estabilometria).....	44
4.3.2	Dia 2 (dinamometria)	47

4.3.3 Dia 3 (<i>Special Judô Fitness Test</i>).....	47
4.4 PRÉ-PROCESSAMENTO	47
4.5 PROCESSAMENTO.....	48
4.6 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	48
4.7 APLICAÇÃO DO CLASSIFICADOR	49
5 RESULTADOS	51
6 DISCUSSÃO	56
7 CONCLUSÃO.....	60
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXO I - APROVAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA PELO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DO HOSPITAL CLEMENTINO FRAGA FILHO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.....	74
ANEXO II - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA PARTICIPAÇÃO EM PESQUISA CIENTÍFICA.....	75
ANEXO III - QUESTIONÁRIO.....	77

LISTA DE SIGLAS

- CP – Centro de pressão
- CPy – Centro de pressão na direção ântero-posterior
- CPx – Centro de pressão na direção mediolateral
- CM – Centro de massa
- AE – Área elíptica
- F_{mediana} – Frequência mediana
- FC_{final} – Frequência cardíaca após o teste
- FC_{1min} – Frequência cardíaca após 1 min do final do teste
- FM – Força máxima
- FN – Falso negativo
- FP – Falso positivo
- MLP – Rede neural *multilayer perceptron*
- N_{estadual} – Competidores de torneios do estado do Rio de Janeiro
- N_{nacional} – Medalhistas de torneios nacionais
- OAPA – Olhos abertos e pés confortavelmente afastados
- OAPF – Olhos abertos e pés com 2 cm de distância entre os calcâneos e o antepé lateralmente girado a 30°
- OFPA – Olhos fechados pés confortavelmente afastados
- OFPF – Olhos fechados e pés com 2 cm de distância entre os calcâneos e o antepé lateralmente girado a 30°
- OAUP – Olhos abertos em posição unipodal do lado dominante
- RL – Regressão logística
- RML – Resistência muscular localizada
- RNA – Redes neurais artificiais
- AUC – Área sob curva característica de operação do receptor
- SJFT – *Special Judo Fitness Test*
- VP – Verdadeiro positivo
- VN – Verdadeiro negativo
- VM – Velocidade média

1. INTRODUÇÃO

A descrição do perfil físico do atleta é uma ferramenta importante na seleção de atletas promissores. Essa ação está presente, principalmente, no cotidiano dos treinadores que participam do desenvolvimento do nível básico dos atletas iniciantes. Para auxiliar nesse processo e fornecer subsídios quantitativos para esses profissionais, alguns estudos propuseram identificar as principais variáveis antropométricas (FRANCHINI *et al.*, 2014), fisiológicas (FRANCHINI *et al.*, 2011a), biomecânicas (BARBADO *et al.*, 2016) e cognitivas (FONTANA *et al.*, 2015; MIARKA *et al.*, 2017) que pudessem influenciar diretamente no rendimento em diferentes esportes. Considerando o grande número de variáveis, torna-se necessário identificar as mais importantes para a caracterização do atleta de alto nível. Para isso, os métodos multivariados são ferramentas eficientes, como mostram FONTANA *et al.* (2015), que utilizaram o método de regressão logística (RL) para classificar três níveis de atletas de rúgbi utilizando variáveis antropométricas, e JAKSIC *et al.* (2014), que classificaram, utilizando a rede neural *multilayer perceptron* (MLP), o tipo morfológico de estudantes universitários de educação física.

O judô é um esporte de combate que abrange diferentes perfis de atletas, pois permite que atletas com diferentes índices de massa corporal possam competir em alto rendimento. Em uma competição oficial de judô, os atletas são separados em sete categorias de massa corporal para ambos os sexos. Sabe-se que atletas de categorias diferentes apresentam características físicas diferentes: por exemplo, os atletas de categoria mais pesada apresentam maiores valores das espessuras das dobras cutâneas (FRANCHINI *et al.*, 2014) e maiores índices de força de prensão manual (SÁNCHEZ *et al.*, 2011) do que as categorias mais leves.

Contudo, independentemente da categoria, o objetivo dos atletas de judô é atingir a pontuação máxima, o Ippon. Como o judô é um esporte que tem técnicas de luta em pé e no solo, os atletas precisam suportar um esforço intermitente e irregular, que requer uma qualidade técnica e tática durante o combate (IMAMURA *et al.*, 2006, 2007; BLAIS *et al.*, 2007; FRANCHINI *et al.*, 2011a; ISHII *et al.*, 2012). Para isso, o atleta de judô precisa ter uma boa potência aeróbia e anaeróbia para suportar os estímulos intermitentes da luta (FRANCHINI *et al.*, 2011a), força e resistência muscular para conseguir segurar no quimono e movimentar o adversário (BONITCH-GÓNGORA *et al.*, 2013), equilíbrio para se manter

em pé e conseguir derrubar o adversário (YOSHITOMI *et al.*, 2006) e perfil antropométrico com características adequadas para um bom rendimento (FRANCHINI *et al.*, 2014).

O sucesso do atleta de judô depende diretamente da capacidade de adaptação à alta demanda metabólica intermitente presente na luta. Essa demanda física exige que o atleta seja capaz de apresentar habilidades complexas e excelência tática (DEGOUTTE *et al.*, 2003), proporcionando maior eficiência na execução das técnicas do judô (FRANCHINI *et al.*, 2005; IMAMURA *et al.*, 2006). Segundo JULIO *et al.* (2017), durante a luta há uma predominância do metabolismo aeróbio (70%) para suprir o custo energético em comparação ao anaeróbio láctico (9%) e alático (21%). Para avaliar a aptidão física dos atletas de judô, STERKOWICZ (1995) desenvolveu o Special Judo Fitness Test (SJFT) que permite analisar de forma indireta essas duas vias metabólicas usando movimentos específicos do judô. Devido ao baixo custo e a sua confiabilidade (STERKOWICZ, 1995), o SJFT é utilizado tanto na avaliação do atleta, quanto em estudos científicos, e tem sido o teste mais utilizado para avaliar os atletas de judô, mostrando correlação com os testes fisiológicos de capacidade de esforço anaeróbico aeróbico (STERKOWICZ *et al.*, 1999). BONATO *et al.* (2015) empregaram este teste em um programa de treinamento em judocas de alto rendimento, enquanto FRANCHINI *et al.* (2011d) investigaram as contribuições dos sistemas energéticos durante o SJFT.

Dois aspectos importantes estão relacionados ao metabolismo anaeróbio: (1) a capacidade do atleta de aplicar a maior força possível no momento certo, derrubando o oponente associa-se a potência anaeróbia; e (2) a capacidade de manter a intensidade da força durante o combate relaciona-se a capacidade anaeróbia. Um dos principais aspectos relacionados a essa capacidade física ao longo da luta é a capacidade do atleta de aplicar força ao segurar o quimono do adversário para movê-lo e derrubá-lo. Vários autores têm investigado a força de preensão manual do atleta de judô, comparando a mão dominante com a não dominante, e a força de atletas de diferentes níveis (FRANCHINI *et al.*, 2007; LITTLE, 1991), bem como analisando a força de preensão manual como um possível preditor dos resultados em competições (SÁNCHEZ *et al.*, 2011). No entanto, poucos estudos, além de avaliar o índice de força máxima, mensuraram a resistência muscular localizada na preensão manual (BONITCH-GÓNGORA *et al.*, 2013).

Para maior eficácia na execução das técnicas, o atleta de judô precisa apresentar estabilidade postural e de tronco (BARBADO *et al.*, 2016). A capacidade de manter o equilíbrio, bem como a capacidade de adaptar-se rapidamente a perda do mesmo após um distúrbio externo ou interno são características importantes para o atleta de judô de alto nível

(PERROT *et al.*, 2000; PERRIN *et al.*, 2002). Em esportes como o judô, que exigem maior controle do equilíbrio, espera-se que os atletas desenvolvam essa habilidade de acordo com o tempo de treinamento. Segundo PERRIN *et al.* (2002), atletas de judô apresentaram melhor controle postural do que pessoas fisicamente ativas e bailarinas, principalmente quando alguns controladores sensoriais foram suprimidos. Além disso, YOSHITOMI *et al.* (2006) sugerem que os judocas ativam os músculos dos membros inferiores mais rapidamente, mas com mais controle nas respostas corretivas, uma vez que o grupo de atletas mais experientes apresentaram melhor controle no reposicionamento do centro de pressão dos pés do que os grupos controle e de menos experientes.

O desempenho dos atletas de judô também está associado ao seu perfil antropométrico. Cada divisão de peso implica diferenças entre aspectos técnicos, táticos e físicos, que podem estar diretamente associados à composição corporal dos atletas, dificultando a unificação do perfil antropométrico dos atletas. No entanto, os atletas de cada categoria de peso buscam intensificar o aumento da massa muscular e minimizar o índice de massa gorda para ganhar vantagem sobre seus oponentes (BRITO *et al.*, 2012). Além disso, o somatotipo predominante entre a maioria das categorias é o mesomorfo, sugerindo a presença de semelhanças no padrão físico (CLAESSENS *et al.*, 1987), destoando apenas a categoria com massa corporal acima de 100kg em que o somatotipo predominante é o endomorfo. Atletas de diferentes níveis apresentam diferenças significativas entre as variáveis antropométricas (FRANCHINI *et al.*, 2014). Por exemplo, atletas de nível internacional apresentaram valores mais altos de circunferência de membros (braço, antebraço, punho e perna) e diâmetro ósseo (FRANCHINI *et al.*, 2005), bem como menores valores de percentual de gordura (CALLISTER *et al.*, 1991), em comparação com atletas de nível nacional.

Tendo em vista a necessidade de melhorar o desempenho atlético, a identificação de variáveis relevantes entre um grande conjunto de características morfológicas, biomecânicas e fisiológicas facilitará a prescrição de um treinamento mais específico. FRANCHINI *et al.* (2005, 2007, 2011a) descreveram o perfil físico específico de atletas de judô com base em avaliações antropométricas e fisiológicas de lutadores de alto nível, indicando a necessidade de caracterizar as principais capacidades físicas e técnicas de alocação de um atleta em determinado nível.

No entanto, esses estudos não utilizaram métodos multivariados, que classificam e reconhecem os padrões dessas variáveis, com potencial para uma avaliação objetiva e precisa das características do atleta. Uma das opções é a RL, um método linear que se aplica a

modelos dicotômicos de variáveis dependentes, a qual pode ser usada para classificar padrões pertencentes a duas classes diferentes. Além disso, redes neurais artificiais são modelos multivariados que empregam métodos computacionais não-lineares para simular a função cerebral, sendo compostos por uma rede de unidades de processamento ou neurônios artificiais. As redes neurais artificiais são frequentemente empregadas para classificar padrões baseados no aprendizado de exemplos anteriores. Em alguns esportes, métodos multivariados têm sido aplicados. FONTANA *et al.* (2015) classificaram, por meio de RL, atletas de rugby de diferentes posições com base em variáveis antropométricas. MIARKA *et al.* (2017), utilizando RNA probabilística, discriminaram variáveis técnico-táticas entre homens e mulheres atletas de judô.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

- Classificar judocas em nível nacional e regional utilizando métodos multivariados em dados biomecânicos, antropométricos e SJFT.

1.1.2 Objetivos Secundários

- Identificar as variáveis biomecânicas, antropométricas e do SJFT que melhor classifiquem os atletas de judô baseado no nível de desempenho (nacional e estadual).
- Identificar qual modelo multivariado (RL ou MLP) apresenta melhor desempenho na classificação no nível dos atletas.

1.2 Hipóteses

Admitindo que os atletas de judô alocados no grupo de nível nacional são atletas com melhor desempenho competitivo, tais atletas tendem a se beneficiar de suas características antropométricas e apresentar melhor rendimento nas avaliações biomecânicas e no SJFT do que os de nível estadual. Sendo assim, os métodos de classificação identificarão quais variáveis melhor separam esse dois grupos.

Espera-se que o modelo MLP apresente melhores resultados que o RL, pois permite capturar comportamentos não lineares das variáveis.

Admitindo que todos os grupos de variáveis (biomecânica, antropométrica e do SJFT) são importantes na prescrição do treinamento do atleta, acredita-se que pelo menos uma variável por grupamento será selecionada para a classificação dos dois níveis de atletas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O presente trabalho abrange o estudo de variáveis antropométricas, biomecânicas e fisiológicas para a identificação dos principais parâmetros na separação de dois níveis de atletas de judô. Para tal, diferentes dados foram coletados e os sujeitos foram submetidos a uma avaliação antropométrica, testes de força e equilíbrio utilizando o dinamômetro e a plataforma de estabilometria, respectivamente. Para análise dos fatores fisiológicos (condicionamento aeróbio e anaeróbio) foi utilizado o SJFT. A partir da obtenção desses dados, a estatística multivariada foi aplicada para a classificação dos dois grupos de atletas. Portanto, este capítulo é dedicado à revisão da literatura, no qual são apresentados os aspectos relevantes e uma breve descrição das características gerais do judô:

- As características do perfil físico do atleta de judô, bem como suas características de composição corporal.
- Os conceitos de força e sua aplicação durante o combate de judô.
- O perfil fisiológico do atleta de judô, abrangendo a composição aeróbia e anaeróbia durante a luta.
- As características do controle do equilíbrio postural estático e dinâmico aplicados aos atletas de judô.
- A aplicação da análise multivariada para a caracterização dos atletas em geral, bem como a classificação das principais variáveis de desempenho.

2.1 Características gerais do judô

Em 1882, Jigoro Kano fez estudos sobre as antigas formas de autodefesa, principalmente o Ju-jitsu, e integrou as melhores delas desenvolvendo o que é atualmente conhecido como judô. O prosseguimento da evolução do judô se deu primeiramente com a criação da Kodokan (instituto em que o judô foi criado) e posteriormente a entrada de Jigoro Kano como o primeiro membro asiático do Comitê Olímpico Internacional em 1909. O judô teve sua primeira participação nos Jogos Olímpicos de Tóquio como esporte de demonstração, em 1964, apoiado por fãs de judô e promotores do esporte em todo o mundo. O judô se tornou um esporte de combate dinâmico e extremo que exige tanto força física quanto grande disciplina mental. A luta no judô inicia-se em pé, com os adversários frente a frente,

possibilitando, após o sinal do árbitro, a execuções de técnicas (Figura 1A) que permitem ao atleta levantar e jogar seu adversário de costas no Shiai-jô (local onde é realizado o combate). Quando a luta se encaminha para o solo (Figura 1B), incluem-se técnicas que permitem imobilizar seu oponente no chão, controlá-lo e aplicar várias técnicas de chave de braço ou estrangulamento até a sua desistência.



Figura 1 - (A) Técnica de projeção, (B) Técnica que chave articular o oponente no chão.

2.2 Perfil físico do atleta de judô e relação com o desempenho

O judô é um esporte estratificado em sete categorias de peso no sexo masculino (< 60 kg, 66 kg, 73 kg, 81 kg, 90 kg, 100 kg e > 100 kg) e feminino (<48 kg, 52 kg, 57 kg, 63 kg, 70 kg, 78 kg e > 78 kg), com intuito de garantir a equidade e promover combates equilibrados em termos de força, de potência e agilidade.

O judô é um esporte de alta intensidade e intermitente, que exige habilidades complexas e excelência tática para o sucesso (DEGOUTTE *et al.*, 2003; FRANCHINI *et al.*, 2011a). Como os atletas precisam realizar uma série de ações durante cada luta, a demanda física de um único combate é bastante elevada. Normalmente, medalhistas do judô realizam de cinco a sete lutas em um mesmo dia durante competições internacionais, tendo cada luta um limite inicial de 4 min. Se um atleta de judô obtém um ippon (execução da técnica perfeita e ponto completo), a luta termina. Por outro lado, a partir de 2013, quando o tempo determinado para o combate termina e as pontuações são iguais para ambos os atletas, é necessário realizar um tempo extra, até que um dos atletas pontue. Assim, uma luta de judô pode durar de alguns segundos a um tempo indeterminado, dependendo das pontuações obtidas pelos competidores. No entanto, um combate típico de judô de alto nível tem a duração em média de 3 min, com 20-30 s de períodos de atividade e 5-10 s de interrupção (FRANCHINI *et al.*, 2011a).

As técnicas de judô, quando aplicadas com eficiência, devem ser realizadas com precisão, no instante certo, com velocidade e potência. A alta intensidade durante a execução dessas técnicas depende da energia fornecida principalmente pelo metabolismo anaeróbio (DEGOUTTE *et al.*, 2003; FRANCHINI *et al.*, 2005, 2007 e 2011a). Em contraste, tanto a manutenção do trabalho intermitente realizado durante uma luta, quanto o processo de recuperação, durante os intervalos curtos, são suportados principalmente pelo metabolismo aeróbio (DEGOUTTE *et al.*, 2003; FRANCHINI *et al.*, 2005, 2007 e 2011). Baseado nesses fatos, pode-se estabelecer que o judô é um esporte complexo, compreendendo uma série de características específicas para atingir um alto nível na competição (FRANCHINI *et al.*, 2011a). Para uma possível caracterização do perfil físico desses atletas, estudos foram desenvolvidos abordando as seguintes propriedades: composição corporal (STERKOWICZ *et al.*, 2011; FRANCHINI *et al.*, 2005; 2007; 2011b; LEWANDOWSKA *et al.*, 2011), força dinâmica e isométrica (PERRIN *et al.*, 1987; BLAIS *et al.*, 2007; FRANCHINI *et al.*, 2005; 2007; 2011c; SANCHEZ *et al.*, 2011; LEWANDOWKA *et al.*, 2011), potência (PERRIN *et al.*, 1987; BLAIS *et al.*, 2007; FRANCHINI *et al.*, 2005; 2007; 2011a), condicionamento anaeróbio (DEGOUTTE *et al.*, 2003; FRANCHINI *et al.*, 2005; 2007; 2011a; STERKOWICZ *et al.*, 2011), condicionamento aeróbio (DEGOUTTE *et al.*, 2003; FRANCHINI *et al.*, 2005; 2007; 2011a; STERKOWICZ *et al.*, 2011) e equilíbrio dinâmico e estático (CHIANG *et al.*, 2000; PERROT *et al.*, 2000; PERRIN *et al.*, 2002; PAILLARD *et al.*, 2007)

2.3 Composição corporal

A composição corporal ideal para a participação no desporto competitivo varia em função do tipo de esporte. Aprimorar o desempenho atlético, contudo, é frequentemente associado com a diminuição da gordura corporal. Deduz-se então que o aprimoramento do desempenho atlético está associado ao baixo nível de gordura corporal ou ao elevado peso livre de gordura alcançável para um competidor (SIDERS *et al.*, 1993)

O desenvolvimento estrutural do corpo do atleta de judô é um dos mais importantes fatores que afetam seu resultado, exibindo um alto grau de similaridade entre os traços morfológicos e as habilidades motoras em cada esporte. Esses traços específicos são importantes para a obtenção de resultados mais elevados, criando um modelo de somatotipo para cada desporto (LEWANDOWSKA *et al.*, 2011).

Como o judô é um esporte dividido por categoria de peso, a busca pela melhor aptidão física e ao mesmo tempo o controle da massa corporal ideal gera um desafio importante para a equipe técnica do atleta. O percentual de gordura reduzido e a massa muscular elevada vêm sendo relacionados como fatores de desempenho do atleta de judô (DRID *et al.*, 2015; FRANCHINI *et al.*, 2005), além disso, o somatotipo representa uma importante influência no desempenho das principais valências físicas do atleta de judô (FRANCHINI *et al.*, 2007; LEWANDOWSKA *et al.*, 2011). Portanto, o perfil antropométrico de um atleta de elite pode ser um fator relevante para o sucesso na competição e para o desempenho em testes específicos de judô.

A análise da composição corporal é um mecanismo importante para avaliação do percentual de gordura, massa óssea, massa muscular e para o cálculo do somatotipo do atleta. Baseados nessas variáveis, estudos vêm buscando caracterizar os níveis, sexo e nacionalidades dos atletas de judô (FRANCHINI *et al.*, 2005a; 2005b; 2007; 2011a; LEWANDOWSKA *et al.*, 2011). FRANCHINI *et al.* (2005a) avaliaram a composição corporal de atletas da seleção brasileira universitária de judô, aferindo massa corporal, estatura, percentual de gordura, diâmetros ósseos e circunferências. Além da avaliação antropométrica, FRANCHINI *et al.* (2005a) avaliaram os atletas em três variáveis de desempenho: teste de Wingate para os braços, SJFT e número de ataques e tipos de técnicas durante a simulação de um combate. O objetivo desse estudo foi testar o coeficiente de correlação entre o percentual de gordura dos atletas e o seu rendimento nos testes. Pode-se perceber que as variáveis de desempenho apresentaram uma correlação negativa significativa com o percentual de gordura. As correlações encontradas em tal estudo parecem indicar que judocas com menor percentual de gordura corporal possuem um maior desempenho anaeróbio nos testes, tendendo a executar mais ataques durante o combate, provavelmente devido a uma melhor adaptação metabólica para as necessidades do combate (FRANCHINI *et al.*, 2005a). Logo, os atletas de judô devem evitar um excesso de gordura corporal, a fim de manter suas capacidades físicas.

Em outro estudo de FRANCHINI *et al.* (2005b) verificaram as diferenças entre os praticantes de elite e não elite de judô em provas genéricas e específicas do esporte. Para tanto, foram realizados os seguintes testes e medidas: (a) espessura das dobras cutâneas; (b) circunferências; (c) larguras; (d) teste de Wingate nos membros superiores; (e) SJFT; (f) potência e capacidade aeróbica; (h) Lactato após combate durante a recuperação ativa e recuperação passiva; (i) Força de prensão manual isométrica. O grupo elite apresentou

resultados significativamente melhores que o grupo não elite nas seguintes variáveis: circunferências (cm) - braço flexionado, antebraço, punho e panturrilha; larguras (cm) - fêmur e úmero; Teste de Wingate - potência média e pico; SJFT - número de projeções e índice. Assim, esses resultados sugerem que o treinamento e a identificação de talentos de atletas de judô devem se concentrar nas variáveis que diferem entre atletas de elite e não elites.

FRANCHINI *et al.* (2007) desenvolveram um estudo semelhante, comparando as mesmas variáveis antropométricas e testes de desempenho com a equipe titular da seleção brasileira de judô e seus respectivos reservas em ambos os sexos. Não houve diferença significativa nas variáveis antropométricas entre os grupos avaliados, ocorrendo um baixo percentual de gordura e dobras cutâneas e altos valores de circunferência e diâmetro ósseo em ambos os grupos, principalmente nos membros superiores. Tal fato pode ser explicado pela importância dos membros superiores no desempenho atlético do judô. Semelhante a FRANCHINI *et al.* (2005a), ocorreu uma correlação negativa entre o percentual de gordura e o nível de performance nos três testes aplicados.

LEWANDOWSKA *et al.* (2011) avaliaram a composição corporal, o torque muscular em um isocinético, e a potência anaeróbia realizada em um cicloergômetro em atletas de judô. Baseados nessas variáveis verificaram uma possível relação entre o somatotipo e as variáveis de torque e potência muscular. O cálculo do somatotipo dos atletas permitiu observar uma predominância da mesomorfia. Além disso, foi identificado um coeficiente de correlação positivo significativo do somatotipo de mesomorfia com o torque muscular ($r = 0,78$) e a potência muscular ($r = 0,62$). Essa resposta pode ser explicada pelo importante papel da composição corporal na potência anaeróbia e a capacidade anaeróbia nos resultados esportivos específicos desses atletas.

Com o intuito de analisar as características antropométricas dos atletas, FRANCHINI *et al.* (2014) compararam variáveis antropométricas entre as sete categorias do judô, compreendendo: dobras cutâneas; dimensionalidade longitudinal e circunferencial; diâmetros ósseos; valores estimados de composição corporal. Foi possível observar uma correlação linear dos valores de circunferências dos membros e diâmetros ósseos do peso com o índice de massa corporal. Além disso, a estatura, dobras cutâneas e composição corporal são variáveis que diferem, principalmente, entre as categorias mais pesadas e mais leves.

O objetivo de traçar um perfil antropométrico de atletas de judô também foi tema de estudo de ALMANSBA *et al.* (2010), no qual a seleção Argelina foi submetida a uma avaliação antropométrica para obter informações aprofundadas sobre as características de

composição corporal. Foi possível parametrizar esses atletas e compará-los com estudo de outras equipes (seleções) de judô, servindo como uma ferramenta importante para a equipe técnica da seleção Argelina no acompanhamento de seus atletas.

ALI *et al.* (2010) investigaram a relação entre a gordura corporal, fatores antropométricos e funções fisiológicas de atletas da equipe feminina de judô da seleção Iraniana. Os autores verificaram que a potência anaeróbia é um fator importante na caracterização dessa equipe e que os atletas de judô com maior VO₂máx apresentaram maior potencia anaeróbia, mas os mesmo não foi identificado quando a potência anaeróbia foi relacionada a mass gorda, apresentando uma correlação negativa ($r = -46$). Como conclusão do estudo, ALI *et al.* (2010) consideraram que, embora essas variáveis sejam importantes para avaliar o desempenho do atleta, outras variáveis (fatores psicológicos,) devem ser estudadas para prever o nível do atleta.

Os fatores antropométricos também foram comparados entre atletas espanhóis de diferentes idades, com o intuito de verificar uma possível disparidade entre essas classes (FRANCHINI *et al.*, 2011b). Entretanto, poucas diferenças foram encontradas entre as categorias de idade, com os mais novos apresentando menor circunferência do braço fletido e largura biepicondilar de úmero em comparação com os de idade intermediária e a classe adulta, e menor massa muscular absoluta em comparação aos atletas da classe adulta. Logo, os autores concluíram que os atletas mais novos apresentaram valores semelhantes aos atletas da classe adulta, com características morfológicas adequadas para competir em qualquer classe, o que representa uma importante informação para a equipe técnica da seleção espanhola de judô. Utilizando a mesma equipe de atletas espanhóis, CASALS *et al.* (2017) buscaram identificar quais variáveis antropométricas melhor se relacionavam ao índice de desempenho do SJFT. A partir de três modelos de regressão linear foi possível perceber que as seguintes variáveis apresentaram maior poder preditivo: (Modelo 1) massa corporal e sexo; (Modelo 2) dobras cutâneas, larguras e circunferência de membros e estatura; (Modelo 3) composição corporal (massa gorda, muscular e óssea) e somatotipo.

O nível do atleta também foi um fator de comparação em diferentes classes de idade utilizando variáveis antropométricas. ŠTEFANOVSKÝ *et al.* (2017) avaliaram diferenças nos parâmetros morfológicos de atletas de judô de diferentes idades e níveis de desempenho e verificaram que a circunferência do antebraço e diâmetro de punho no grupo de elite são significativamente maiores em comparação com o grupo não-elite. Sendo assim,

consideraram estes fatores discriminativos como confiáveis e que conseqüentemente devem ser levados em consideração, especialmente ao selecionar atletas de judô para equipes de elite.

Seguindo as características de outros estudos em atletas de judô (FRANCHINI *et al.*, 2005a; CASALS *et al.*, 2017), KATRALLI e GOUDAR (2012) buscaram determinar o perfil antropométrico em atletas da seleção indiana de judô correlacionando-o com o SJFT. Semelhante a outros estudos, foi observado uma correlação negativa ($r = -0,69$) dos índices de desempenho do SJFT com a massa gorda nos atletas.

As variáveis antropométricas também foram relacionadas com a qualidade do desempenho da técnica de arremesso no judô (SERTIĆ *et al.*, 2007). A partir de uma análise qualitativa de cinco especialistas em judô, foi possível identificar uma influência positiva nos valores de circunferência do membro superior e as dimensões longitudinais dos atletas de judô, sendo fatores determinantes na qualidade da execução da técnica e na seleção do golpe para cada característica física do judoca, respectivamente.

DRID *et al.* (2015) investigaram os fatores determinantes no perfil antropométrico que pudessem diferenciar atletas de nível internacional (elite) dos de nível nacional (sub-elite) da categoria meio pesado (até 100 kg). Foi possível identificar que os judocas de elite apresentaram maior circunferência de braço e massa muscular no membro superior em comparação aos atletas sub-elite, entretanto não apresentaram diferença significativa no percentual de gordura. Como a maioria dos estudos não tem por objetivo focar em apenas uma categoria de peso, DRID *et al.* (2015) forneceram importantes informações sobre os atletas da categoria meio pesado para técnicos e preparadores físicos de equipes de judô.

No judô, como ocorre em qualquer outro esporte de combate no qual os competidores são divididos por classes de peso, a composição corporal ideal é uma grande preocupação. Assim, os atletas de judô tentam maximizar a quantidade de tecido magro e minimizar a quantidade de gordura corporal e o peso corporal total. Considerando a ampla gama de classes de peso, é difícil estabelecer um tipo de corpo único ou um perfil antropométrico para todos os atletas de judô (FRANCHINI *et al.*, 2011b). No entanto, existe alguma semelhança em grande parte em termos de somatotipo característico e uma predominância de endomorfo-mesomorfo (FRANCHINI *et al.*, 2014).

2.4 Manifestação de força muscular

Para os atletas de judô, o desenvolvimento da força é um elemento importante no desempenho. A falta de força pode gerar um atraso na execução correta das técnicas de arremesso de judô, acelerar o processo de fadiga muscular e prejudicar a precisão do movimento (BLAIS *et al.*, 2007). A força pode ser definida como qualquer interação, de impulso ou tração, entre dois objetos, que faça com que um destes acelere positiva ou negativamente (HAMILL & KNUTZEN, 1999). O músculo é um gerador de força de tração ou de tensão e desse modo tem apenas a capacidade unidirecional (HAMILL & KNUTZEN, 1999). A maioria das aplicações de força no movimento humano causa translação e rotação simultânea, de modo que quando uma força causa uma rotação sobre um determinado eixo, a linha de ação da força precisa agir a certa distância deste eixo (HAMILL & KNUTZEN, 1999). Quando uma força é aplicada de modo que cause uma rotação, o produto vetorial entre a força e a distância ao eixo é denominado torque (HALLIDAY & RESNICK, 2016). Durante o combate, os atletas de judô exercem tanto força dinâmica quanto força estática, sendo tais componentes físicos temas de estudo de diversos autores (PERRIN *et al.*, 1987; BLAIS *et al.*, 2007; FRANCHINI *et al.*, 2005a; 2007; 2011c; SANCHEZ *et al.*, 2011; LEWANDOWSKA *et al.*, 2011).

2.4.1 Força de contração dinâmica

A estimulação neural de um músculo faz com que os elementos contráteis de suas fibras tendam a encurtar-se ao longo do eixo longitudinal (MCARDLE *et al.*, 2008). Uma contração muscular dinâmica produz movimento na estrutura óssea, gerando uma contração concêntrica ou excêntrica (MCARDLE *et al.*, 2008). De acordo com HALL *et al.* (2005), a ação muscular concêntrica ocorre quando a tensão muscular provoca um torque maior que o torque da carga resistiva gerando o encurtamento muscular, enquanto a ação muscular excêntrica ocorre quando o torque externo ultrapassa o torque muscular e o músculo se alonga.

A disponibilidade de dinamômetros isocinéticos permitiu a quantificação rápida e confiável de forças musculares, incluindo torque, potência e trabalho (PERRIN *et al.*, 1987). Esse recurso tem se tornado comum em muitas avaliações na medicina esportiva (PERRIN *et al.*, 1987; LEWANDOWSKA *et al.*, 2011). LEWANDOWSKA *et al.* (2011) desenvolveram um estudo com o objetivo de investigar a relação entre o somatotipo e torque muscular em atletas de judô. Foi analisado o torque muscular máximo de dez grupos musculares: flexores e

extensores do cotovelo, ombro, quadril, joelho e tronco. Foi observado que os componentes do somatotipo em judocas analisados foram significativamente associados com a força. As avaliações de força desses atletas foram altamente correlacionadas com mesomorfia ($r = 0,78$). Tal fato pode ser explicado pela proporcionalidade de força muscular em relação ao seu tamanho: um braço de maior circunferência pode ser um indicativo de maior área de secção transversa muscular e, conseqüentemente, maior produção de potência e força gerada nos segmentos (MCARDLE *et al.*, 2008).

A fim de analisar as principais características dos atletas de judô, CALLISTER *et al.* (1991), compararam a composição corporal, potência aeróbia, força e composição de fibras musculares e área de fibra em judocas de diferentes categorias de peso e sexo. Como esperado, foi possível identificar maior índice de força para atletas do sexo masculino em relação ao feminino. Além disso, os atletas mais pesados apresentaram maiores índices de torque em relação aos mais leves. Entretanto, quando comparado os índices de torque de extensão e flexão de cotovelo não foi identificada diferença significativa nos atletas.

A origem japonesa do sumô não é a única semelhança com judô. Ambos os esportes de combate apresentam a característica de serem uma luta “agarrada”, com o objetivo de derrubar o adversário. Sendo assim, KANEHISA *et al.* (1998) investigaram a capacidade de geração de força nos lutadores de sumô e compararam os dados obtidos com atletas treinados (judô, luta olímpica e levantamento de peso olímpico) e sujeitos não treinados. Os lutadores de sumô e atletas mostraram torque de flexão/extensão de joelho e cotovelo significativamente maior do que os não treinados em todas as condições de teste. Tal fato demonstra a importância da capacidade de geração de força de contração dinâmica nos respectivos atletas de combate.

O torque dinâmico em atletas de judô utilizando o isocinético também foi tema de estudo de RIBEIRO *et al.* (2006). Entre os objetivos do estudo de RIBEIRO *et al.* (2006), um foi verificar se diferentes estímulos de luta de judô, respectivamente 90 s, 180 s e 300 s, alteraria o torque de flexão e extensão de ombro, gerando indício de fadiga muscular. Observando-se os seus resultados, os valores médios de pico de torque antes e após o estímulo (luta) sugerem que tais estímulos não foram suficientes para alterar o pico de torque dos músculos. Os autores sugeriram os estímulos das lutas a que os indivíduos foram submetidos não foram suficientes para alterar o pico de torque dos músculos, e / ou o tempo de repouso entre o estímulo e a coleta de sinal representou um tempo de recuperação suficiente para a

capacidade de gerar força nos músculos analisados, o que supõem-se uma rápida recuperação entre os estímulos, importante característica para os atletas de judô.

RUIVO *et al.* (2012) estudaram o perfil de torque muscular dos rotadores externos e internos do ombro e os flexores e extensores de cotovelo em judocas do sexo masculino em comparação ao grupo controle. Os parâmetros de força isocinética da rotação interna e externa do ombro e da flexão e extensão do cotovelo foram significativamente maiores no grupo de judocas nas duas velocidades, o que pode ser explicado pelo maior tempo de prática desportiva bem como da frequência semanal dos atletas de judô em comparação aos indivíduos fisicamente ativos (grupo controle).

O nível do torque muscular foi utilizado como medida de comparação entre atletas de diferentes idades (LECH *et al.*, 2015). Eram esperados maiores índices de torque muscular para os atletas da categoria adulto em relação aos mais jovens. Entretanto, não foram identificadas diferenças significativas entre atletas adultos e jovens em três índices de torque: valor médio de extensão de quadril, flexão de tronco e torques musculares máximos. Esse fato aponta para o fenômeno observado na prática de treinamento, ou seja, a especialização precoce, que consiste na aplicação do modelo de treinamento adulto em grupos etários mais jovens, com foco em resultados esportivos elevados em pouco tempo. Assim, tanto os mecanismos naturais quanto os princípios biológicos do desenvolvimento físico, bem como os cuidados com o desempenho esportivo futuro, são ignorados.

Embora a função dos músculos do tronco tenha sido sugerida como determinante do desempenho do judô, sua contribuição para o desempenho de alto nível neste esporte tem sido pouco estudada. Para tal, BARBADO *et al.*, (2016) estudaram o índice de resistência muscular localizada e a força dos músculos do tronco por meio de testes isocinéticos em atletas de nível nacional e internacional. Os resultados do estudo suportam a importância da força dos músculos da região lombopélvica, sendo um determinante no desempenho do judô de alto nível. Especificamente, os judocas de nível internacional apresentaram maior pico de torque do extensor de tronco do que os nacionais. Esse resultado pode explicar a importância dos extensores de tronco no papel de desequilibrar o oponente durante as técnicas de arremesso, movendo o centro de massa do adversário para frente e para cima. A alta força extensora do tronco também pode estar associada à necessidade de manter a postura ereta na posição de defesa, para evitar as tentativas de quedas do adversário.

DETANICO *et al.* (2016) analisaram parâmetros de força de membros superior (torque de rotação externa/interna do ombro) em judocas avançados e novatos, a fim de identificar se

essas variáveis neuromusculares podem ser fatores de discriminação entre esses dois grupos. Rotações de ombro são amplamente utilizadas durante as lutas, especialmente quando um atleta de judô puxa o oponente, tentando provocar uma queda (rotação externa), e durante a disputa de pegada, para controlar a distância entre o judoca e o adversário (rotação interna). Assim, DETANICO *et al.* (2016) esperavam maior adaptação neuromuscular dos músculos de rotação interna e externa do ombro em atletas avançados. No entanto, isso não foi encontrado para o torque de rotação externa do ombro, apresentando apenas maiores valores de torque de rotação interna dos atletas avançados em relação aos novatos.

O índice de força muscular é um fator determinante no judô. No entanto, poucos dados estão disponíveis, relacionados aos atletas africanos. Por isso, GHRAIRI *et al.* (2014) buscaram fornecer dados de referência do perfil de força muscular para a equipe tunisiana de judô. A partir dos dados de torque dinâmico, foi possível perceber que os índices de força do quadríceps do membro de apoio são significativamente maiores do que o membro de ataque, o equilíbrio muscular isquiotibiais/quadríceps apresentou um padrão de normalidade em ambos os membros e a força dos rotadores do ombro é maior no lado dominante.

2.4.2 - Força de contração estática

Os termos contração isométrica ou estática descrevem a atividade muscular sem qualquer modificação perceptível no comprimento das fibras musculares (McARDLE *et al.*, 2008). De acordo com McARDLE *et al.* (2008), a contração isométrica ocorre quando o músculo gera força e tenta encurtar-se, mas não consegue superar a resistência externa. Do ponto de vista da física, este tipo de contração muscular não produz qualquer trabalho externo. Uma contração isométrica (estática) pode gerar uma quantidade considerável de força apesar da ausência de alongamento ou encurtamento perceptivo dos sarcômeros musculares e do subsequente movimento articular (McARDLE *et al.*, 2008).

Várias atividades esportivas requerem a manutenção de níveis de força de preensão manual suficientes para maximizar o controle e o desempenho, bem como diminuir o risco de lesão (DIAS *et al.*, 2011). O judô é um dos esportes em que a força de preensão manual é imprescindível, uma vez que a pegada, ou *kumi-kata* (forma de “pegar” o oponente no *judogui*, vestimenta do judoca), depende substancialmente da força da mão (DIAS *et al.*, 2011). O judô exige uma boa pegada para garantir a segurança em possíveis ações. Para uma pegada ser considerada boa, a execução da técnica correta e um bom nível de força são necessários a fim de manter a ação pelo tempo necessário (SÁNCHEZ *et al.*, 2011). Alguns

estudos foram desenvolvidos para avaliar a importância da força da preensão manual e sua influência durante a luta (FRANCHINI *et al.*, 2005a; SÁNCHEZ *et al.*, 2011).

Durante a luta, a metade do tempo (~ 50%) é gasta em disputas pela melhor posição na pegada (MIARKA *et al.*, 2012), o que resulta em altos níveis de fadiga nos antebraços e uma necessidade de desenvolvimento de resistência para segurar no judogi do oponente (FRANCHINI *et al.*, 2011c). Quando o atleta tem controle da pegada, é possível executar uma técnica de arremesso para tentar pontuar ou ter a oportunidade de continuar a ação no solo (FRANCHINI *et al.*, 2011c).

FRANCHINI *et al.* (2005a) desenvolveram um estudo para avaliar a preensão manual de ambas as mãos e relacioná-las com os testes de desempenho analisados e com o percentual de gordura dos atletas de judô. A força de preensão manual não apresentou correlação com os testes de performance e percentual de gordura.

SÁNCHEZ *et al.* (2011), por sua vez, avaliaram se a força de preensão manual é um indicador relevante em resultados práticos em competição em atletas de judô, observando uma diferença significativa na força de preensão manual, com maior nível de força para a mão dominante em relação à não dominante para ambos os sexos. Em relação às diferentes categorias, foi identificado uma diferença significativa, sendo que os atletas do sexo masculino das categorias mais pesadas apresentaram um maior nível de força.

Além da força de preensão manual, a força de tronco também é muito importante, pois proporciona uma base para a produção de força pelos membros superiores e inferiores na realização das técnicas (BARBADO *et al.*, 2016), sendo uma variável de força primordial para um melhor rendimento do atleta. ANDREATO *et al.* (2011) descreveram os índices de força de preensão manual e de tronco de atletas de jiu jitsu de alto nível. Em comparação a outros estudos com atletas de esportes de luta de pegada, ANDREATO *et al.* (2011) identificaram maiores valores de força isométrica máxima de tronco para os atletas de jiu jitsu.

Entretanto, a avaliação da resistência muscular localizada pode ser mais relevante para a análise de atletas de judô do que a força máxima, uma vez que os atletas necessitam de uma preensão manual com um nível aproximadamente contínuo de força durante o combate, mas não precisam manter um nível de força máxima durante um longo período de luta (FRANCHINI *et al.*, 2011c). FRANCHINI *et al.* (2011c) investigaram as diferenças entre o tempo isométrico máximo na puxada segurando o judogi afixado na barra fixa e o número de repetições (dinâmico) também segurando o judogi. Nenhuma diferença foi encontrada nos

índices de força isométrica entre os níveis de atletas. No entanto, a seleção brasileira realizou maior número de repetições (12 ± 5 repetições) em relação ao grupo regional (9 ± 4 repetições) durante o teste de resistência dinâmica de força. Assim, a resistência muscular localizada de preensão manual parece ser uma variável discriminatória entre os judocas, provavelmente porque o combate envolve muitas extensões e flexões de cotovelo para evitar a pegada do adversário e a possível realização da técnica.

Diferentes cargas tendem a gerar alterações no torque muscular máximo em judocas durante um período de treinamento. Em função dessa hipótese, BUŠKO *et al.* (2008) investigaram as mudanças do torque muscular máximo dos membros inferiores em judocas masculinos durante o treinamento pré-competição. Os torques musculares isométricos dos membros inferiores direito e esquerdo aumentaram significativamente ao longo do período de treinamento. Esses autores ressaltaram a importância de um treinamento organizado.

A força de preensão manual desempenha um papel importante no judô, permitindo ao judoca atacar, defender e contra-atacar através de diferentes movimentos. CORTELL-TORMO *et al.* (2013) analisaram que possivelmente medidas antropométricas gerais e específicas de mão poderiam apresentar correlação positiva com a força de preensão manual. Tal estudo permitiu identificar que a força de preensão manual é principalmente dependente do comprimento do dedo indicador e médio em atletas de judô.

A força de preensão manual é essencial durante a luta, pois os atletas repetem essa ação continuamente durante o combate para aumentar a aderência no judogui do adversário. Embora as descrições da força isométrica máxima de preensão manual em judocas sejam relativamente comuns, poucos dados existem sobre a capacidade de resistir a contrações isométricas sucessivas de preensão manual e sua relação com o desempenho. Por isso, BONITCH-GÓNGORA *et al.* (2013) investigaram as diferenças entre judocas jovens de elite e não elite em termos de força isométrica máxima de preensão manual e sua resistência de força. Após a análise, BONITCH-GÓNGORA *et al.* (2013) verificaram que no teste de resistência muscular houve um decréscimo de força de preensão manual relativa e média dos judocas masculinos e femininos, independentemente do seu nível competitivo. No entanto, os atletas de judô de elite masculino e feminino desenvolveram níveis mais elevados de força de preensão isométrica relativa no teste máximo e durante todas as contrações do teste de resistência do que os atletas de judô não elite.

2.5 Special Judô Fitness Test e perfil metabólico

O condicionamento físico é um aspecto importante do treinamento e conseqüentemente para as competições, sendo necessário testes específicos para avaliar a aptidão física dos atletas, a fim de melhorar sua rotina de treinamento e contribuir para um desempenho de nível mais elevado. Por esta razão, a fim de fornecer ao treinador uma ferramenta simples para acessar a aptidão física de seus atletas, STERKOWICZ (1995) desenvolveu um teste específico para o judô, o Special Judô Fitness Test. O SJFT consiste na projeção (arremesso) de forma alternada de um atleta principal sobre dois oponentes posicionados em lados opostos (Figura 1). O atleta a ser avaliado projeta os dois oponentes o mais rápido possível por um tempo predeterminado. Inicialmente, o atleta é posicionado entre os dois oponentes, os quais se distanciam em 6 m. Ao sinal do avaliador, o atleta corre em direção a um dos oponentes e executa a técnica de projeção *ipon-seoi-nage* (Figura 2C), e logo a seguir repete os movimentos com outro oponente, alternadamente. O teste é dividido em um período de 15 s e dois períodos de 30 s, com intervalos de recuperação de 10 s. A frequência cardíaca do atleta é mensurada imediatamente (FC_{final}) e um minuto (FC_{1min}) após o final de todo o teste. Com o número de arremessos medido (*arremessos*) e os valores de frequência cardíaca, é calculado um índice classificatório por meio da equação:

$$\text{índice} = \frac{FC_{final}(bpm) + FC_{1min}(bpm)}{\text{arremessos}} \quad (14)$$

Após o cálculo do índice, a classificação do desempenho do atleta é identificada a partir da comparação dos valores adquiridos com os da Tabela 5.

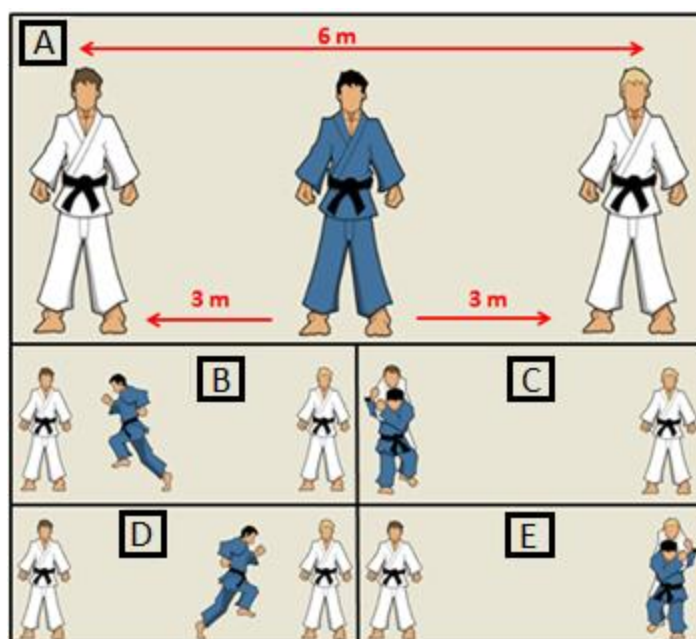


Figura 2 - Etapas do Special Judo Fitness Test.

Tabela 5. Índices de classificação de desempenho do Special Judo Fitness Test

Classificação	Variáveis			
	Arremessos (n)	FC _{final} (bpm)	FC _{1min} (bpm)	Índice
Excelente	≥ 29	≤ 173	≤ 143	≤ 11,73
Bom	27-28	174-184	144-161	11,74-13,03
Regular	26	185-187	162-165	13,04-13,94
Baixo	25	188-195	166-174	13,95-14,84
Muito Baixo	≤ 24	≥ 196	≥ 175	≥ 14,85

Como o SJFT é uma ferramenta importante para analisar as demandas metabólicas do judô se faz necessário entender como o metabolismo aeróbio e anaeróbio se comportam durante os diversos estímulos no exercício físico.

As atividades rápidas de potência contam com a energia “imediate” gerada pelo fracionamento dos fosfatos de alta energia armazenados nos músculos, adenosina trifosfato e fosfocreatina. À medida que o exercício explosivo progride no tempo de duração, ocorre uma redução no rendimento de potência, mas a maior parte da energia para o exercício ainda será proporcionada pelas vias anaeróbias. Essas reações metabólicas envolvem também o sistema glicolítico de energia em curto prazo, com subsequente acúmulo de lactato GASTIN (2001). À medida que a intensidade do exercício diminui e a duração é prolongada, próxima a 90 s, a dependência da energia de produção aeróbia de adenosina trifosfato torna-se importante.

Entretanto ao longo os anos, dois equívocos estiveram presentes na descrição da ação metabólica na ciência do exercício físico GASTIN (2001). O primeiro equívoco foi que os sistemas de energia respondem às demandas do exercício intenso de maneira quase sequencial e o segundo, que o sistema aeróbico responde lentamente a essas demandas de energia, desempenhando um papel pequeno na determinação do desempenho em curtos períodos de tempo GASTIN (2001). Atualmente admite-se que todas as atividades físicas obtêm alguma energia de cada um dos três processos metabólicos (anaeróbio alático, láctico e aeróbio). Não há dúvida de que cada sistema é mais adequado para fornecer energia para um tipo diferente de evento ou atividade, mas isso não implica exclusividade. Da mesma forma, os sistemas de energia contribuem sequencialmente, mas de forma superposta, às exigências energéticas do exercício.

O judô, do ponto de vista fisiológico, pode ser classificado entre as atividades esportivas que exigem o envolvimento concomitante de vias anaeróbias e aeróbias (SBRICCOLI *et al.*, 2007). JULIO *et al.* (2017) estimaram a contribuição dos três sistemas de energia durante a simulação de lutas de judô. As contribuições estimadas de energia para os sistemas oxidativo, glicolítico e ATP-PCr foram calculadas com base no consumo de oxigênio (V_{O_2}) durante a atividade, o delta do lactato e a fase rápida do excesso de V_{O_2} , respectivamente. A contribuição do sistema oxidativo (70%) foi maior que a dos sistemas de energia glicolítica (8%) e ATP-PCr (21%) (em todas as durações de luta), e a contribuição do ATP-PCr foi maior que a do sistema de energia glicolítica (até 3 min de duração de luta). Além disso, durante a simulação das lutas houve um aumento na oxidação (de 50% para 81%), uma diminuição na ATP-PCr (de 40% para 12%) e a manutenção das contribuições glicolíticas (entre 6% e 10%). Sendo assim, JULIO *et al.* (2017) verificaram a predominância do sistema oxidativo para suprir o custo energético das lutas de judô desde o primeiro minuto de combate até o final, comparado aos sistemas anaeróbios.

A produção de potência muscular pelo metabolismo anaeróbio é considerada um requisito essencial para alcançar um alto nível de desempenho no judô (LEWANDOWKA *et al.*, 2011; FRANCHINI *et al.*, 2011a). Baseado nos conceitos da física, a potência é definida como o produto da força e velocidade. Muitos esportes requerem grande resultados de potência, esperando-se que o atleta movimente rapidamente seu peso corporal ou algum objeto externo (HAMILL e KNUTZEN, 1999). Em vista disso, estudos procuraram avaliar a potência muscular dos atletas de judô, a fim de comparar diferentes níveis de atletas e determinar a sua importância para o rendimento no combate (FRANCHINI *et al.*, 2005a;

2007; LEWANDOWSKA *et al.*, 2011). Diversos mecanismos de avaliação da potência foram utilizados em judocas: baseado em uma perspectiva metabólica, foi utilizado o teste de Wingate (FRANCHINI *et al.*, 2005a; 2007; SBRICCOLI *et al.*, 2007; LEWANDOWSKA *et al.*, 2011), enquanto outros avaliaram a potência do ponto de vista mecânico, baseado em um teste de salto sobre uma plataforma de força (FILAIRE *et al.*, 2001) e até mesmo em testes isocinéticos (LEWANDOWSKA *et al.*, 2011).

Como abordado anteriormente, o judô é de natureza intermitente, com períodos de grande intensidade de esforço, alternando com períodos de descanso de cerca de 10 a 15 s. Sendo assim, o tempo durante os períodos de descanso não é suficiente para o organismo ressintetizar fosfato de creatina, o que significa que o papel do metabolismo anaeróbio láctico se torna importante durante a luta (FRANCHINI *et al.*, 2005a). Visando-se avaliar como esses atletas reagem a esse metabolismo e analisar os diferentes níveis de atletas, diversos estudos foram propostos para analisar o padrão de concentração de lactato sanguíneo, seja após o combate ou até mesmo em testes físicos (DEGOUTTE *et al.*, 2002; FRANCHINI *et al.*, 2005a, 2007; SBRICCOLI *et al.*, 2007).

Avaliando o comportamento e a funcionalidade dos testes, FRANCHINI *et al.* (2005a) compararam as concentrações de lactato sanguíneo entre os testes de Wingate e de combate, não encontrando diferença significativa entre eles, o que confirma a similaridade dessas atividades em termos de demanda metabólica. Porém, SBRICCOLI *et al.* (2007) identificaram que o teste de combate apresentou uma concentração significativamente maior de lactato, em relação ao teste de Wingate, o que pode ser atribuído tanto à maior duração ou à maior demanda muscular durante o combate em comparação ao teste de Wingate.

O condicionamento aeróbio durante a luta é importante para um bom rendimento do atleta de judô. Em particular, tornou-se mais relevante com a alteração da regra em 2003, a qual determina que após ocorrer 4 min de luta sem haver um vencedor, a luta tem prosseguimento até que um atleta pontue (*golden score*). Baseado nessas condições de combate, diversos fatores do condicionamento aeróbio podem influenciar no rendimento do atleta, particularmente nos exercícios intermitentes de alta intensidade (FRANCHINI *et al.*, 2011a), dado que as vias aeróbias determinam a capacidade de ressíntese de fosfocreatina, contribuindo para a recuperação nos intervalos durante a luta (FRANCHINI *et al.*, 2011a). Sendo assim, há necessidade dos três componentes metabólicos para o rendimento atlético adequado.

Tanto a capacidade aeróbia quanto a potência aeróbia são consideradas relevantes para o desempenho do judô. Maiores índices dessas variáveis representam uma maior capacidade dos atletas de judô manter uma intensidade elevada durante a luta, atrasam o acúmulo de metabólitos associados a processos de fadiga e melhoram o processo de recuperação entre combates consecutivos (FRANCHINI *et al.*, 2011a). Além disso, o componente aeróbio também é importante nos casos em que a luta ultrapassa os 4 min e chega ao *golden score*. Em tal circunstância, a potência aeróbia parece ser uma das variáveis determinantes na manutenção da intensidade do combate e na quantidade de técnicas realizadas (FRANCHINI *et al.*, 2007)

Entretanto, o condicionamento aeróbio em atletas de judô foi analisado no estudo de ALMANSBA *et al.* (2010), não representando um fator determinante para o desempenho. ALMANSBA *et al.* (2010) identificaram valores de $\dot{V}O_{2,max}$ estatisticamente iguais para atletas de nível regional e inter-regional ($51,90 \pm 0,31$ x $51,85 \pm 0,30$ ml kg⁻¹ min⁻¹). Os autores concluíram que o $\dot{V}O_{2,max}$ não deve ser considerado como índice fisiológico preponderante para determinar o nível de desempenho de judocas, bem como na identificação do talento de judô. Contrapondo esse ponto de vista, DETANICO *et al.* (2012) verificaram que os rendimentos dos atletas de judô apresentaram alta correlação com os índices de capacidade aeróbia. Os autores defenderam que o rendimento depende desses índices.

Apesar da discussão do nível de exigência de cada metabolismo, sabe-se que o judô é um esporte de combate de alta exigência metabólica, dependente também do desempenho técnico- tático para um melhor desempenho competitivo (FRANCHINI *et al.*, 2011a). No entanto, para que se tenha um controle ideal do condicionamento físico do atleta são necessários testes específicos que permitam a avaliação da aptidão física desses atletas, a fim de melhorar a sua rotina de treinamento e contribuir para um melhor desempenho competitivo (GUEDES, 2006). Para tal, o método SJFT de STERKOWICZ (1995) foi posteriormente aprimorado por FRANCHINI *et al.* (2009) para avaliar a potência anaeróbia e aeróbia do atleta. Posteriormente, esse teste foi utilizado por uma série de autores, com o objetivo de comparar atletas de diferentes níveis (FRANCHINI *et al.*, 2005a) e para traçar um perfil fisiológico do atleta de judô (FRANCHINI *et al.*, 2007).

FRANCHINI *et al.* (2005b) realizaram um estudo com o objetivo de verificar as diferenças do condicionamento físico entre atletas de judô (elite e não elite). Para isso foram analisadas cinco variáveis de desempenho: teste de Wingate para membros superiores, SJFT, potência aeróbia, capacidade aeróbia e índice de lactato após simulação de luta. Eles

verificaram que os atletas de elite apresentaram maior potência média e pico de potência no teste de Wingate em relação aos atletas não elite, bem como o grupo elite realizou um maior número de quedas e teve um melhor resultado no índice do teste em relação ao grupo não elite durante o SJFT. Estes dois testes foram importantes para confirmar a diferença nos índices de desempenho dos dois grupos, principalmente nos resultados do SJFT, no qual os atletas de elite apresentaram maior capacidade anaeróbia (inferida a partir do número de quedas, indicando a importância dessa variável para avaliação de atletas judô).

Posteriormente, FRANCHINI *et al.* (2007) verificaram a associação das variáveis morfológicas com as funcionais e a potência aeróbia com o desempenho em tarefa intermitente de alta intensidade. A partir dessas correlações, esse estudo comparou os resultados dos atletas de judô masculino da seleção brasileira entre a equipe titular e a equipe reserva. FRANCHINI *et al.* (2007) não obtiveram diferenças significativas entre as equipes de atletas. Entretanto, foi possível perceber uma correlação negativa ($r = -0,70$) entre o número de projeções no SJFT com a massa corporal e percentual de gordura dos atletas. Além disso, os índices de $\dot{V}O_{2,max}$ apresentaram uma correlação positiva ($r = 0,79$) com o número de projeções no SJFT. Segundo os autores, a influência positiva do maior $\dot{V}O_{2,max}$ no desempenho do exercício intermitente é parcialmente confirmada pela correlação positiva entre essa variável e o número de arremessos no SJFT para os grupos estudados. Além disso, a correlação negativa entre a massa corporal e o desempenho no SJFT indicam que atletas mais pesados apresentam menor poder anaeróbico em atividade que envolve arremessar adversários da mesma categoria.

A fim de analisar as características fisiológicas do SJFT e confirmar a hipótese de que o teste é predominantemente anaeróbio com uma importante contribuição aeróbia, principalmente nas pausas curtas entre ações de projeção, FRANCHINI *et al.* (2011d) investigaram as contribuições dos três sistemas energéticos dos atletas de judô durante o SJFT. A partir da análise das trocas gasosas e da concentração de lactato dos atletas de judô da seleção polonesa, foi possível perceber que o sistema anaeróbio alático apresentou maior contribuição durante o teste quando comparado com ambos os sistemas energéticos aeróbio e anaeróbio láctico. De acordo com FRANCHINI *et al.* (2011d), a maior contribuição alática parece ser uma consequência do esforço de alta intensidade realizado durante o teste, e sua característica intermitente. Concluíram, então, que ao utilizar o SJFT os treinadores estarão avaliando principalmente o sistema anaeróbio alático de seus atletas, que pode ser considerado o sistema mais predominante nas ações técnicas realizadas na luta.

O SJFT também foi utilizado em conjunto de dados antropométricos para traçar um perfil atlético de atletas de elite de judô da seleção indiana (KATRALLI *et al.*, 2012). Além disso, os parâmetros também foram correlacionados a fim de verificar uma possível correlação entre eles. Assim como no estudo de FRANCHINI *et al.* (2007), não foi identificada diferença significativa entre os atletas titulares e reservas da seleção indiana, bem como foi possível observar uma correlação negativa ($r = -0,7$) entre o percentual de gordura e o número de projeções durante o SJFT, indicando que à medida que a percentual de gordura aumenta o desempenho do atleta diminui.

Por sua vez, DRID *et al.* (2015) analisaram o perfil antropométrico e de aptidão física de judocas europeus competidores da categoria até 100 kg. DRID *et al.* (2015) avaliaram as características antropométricas, testes de aptidão física e aplicaram o SJFT modificado (nos testes foi utilizado a técnica de projeção preferida). Os judocas de elite da categoria até 100 kg mostraram potência aeróbia e anaeróbia superiores aos atletas sub-elite, com diferenças significativas no $\dot{V}O_{2,max}$ e no teste de potência máxima. Além disso, os judocas de elite tiveram um melhor desempenho (maior número de projeções) no teste específico de judô (SJFT modificado), principalmente por utilizarem as técnicas favoritas no teste.

Buscando analisar as atletas femininas do judô, KONS *et al.* (2018) analisaram a relação entre o desempenho nos testes físicos genéricos e os específicos de judô, bem como as suas correlações com o desempenho técnico-tático em competição. O estudo foi dividido em duas etapas: (a) análise dos testes físicos - salto vertical de contramovimento, força de preensão manual, SJFT e *Judogi Grip Strength Test*; e (b) desempenho na luta registrados para análise técnico-tática. Para todos os testes físicos genéricos pode-se perceber uma importante correlação entre a quantidade de técnicas executadas na luta e a altura do salto vertical ($r = 0,69$), pico de potência de saída do salto vertical ($r = 0,53$) e pico de velocidade do salto vertical ($r = 0,62$). Entretanto, os resultados do SJFT não mostraram correlação com o rendimento técnico-tático na luta. Sendo assim, KONS *et al.* (2018) concluíram que os testes de desempenho específicos do judô (SJFT) não parecem estar relacionados com as habilidades técnico-táticas dos atletas de judô feminino em competições oficiais.

Assim como em outros estudos (FRANCHINI *et al.*, 2011d; KATRALLI e GOUDAR, 2012), CASALS *et al.* (2017) buscaram determinar quais as variáveis antropométricas melhor predizem o desempenho do SJFT. Foram avaliados 51 atletas de elite de judô espanhóis, por uma análise de regressão linear para explorar as relações entre as características antropométricas e as variáveis do SJFT. Foi possível obter as seguintes informações para as

variáveis antropométricas: Modelo 1 – as variáveis sexo, idade e massa corporal foram selecionadas como os melhores preditores; Modelo 2 - prega cutânea do bíceps e estatura mostraram ser boas predictoras; Modelo 3 - massa muscular e óssea e menor ectomorfia foram associados a um melhor desempenho do SJFT. Sendo assim, os autores concluíram que os programas de treinamento devem tentar aumentar o percentual de massa muscular e reduzir a gordura do braço, bem como o percentual de massa óssea deve ser considerada como uma importante variável na seleção de novos atletas.

2.6 Postura e Equilíbrio

A postura é um termo que pode ser definido como uma posição ou atitude do corpo, a disposição relativa das partes do corpo para uma atividade específica, ou uma maneira característica de sustentar o próprio corpo (SMITH *et al.*, 1997). Para manutenção do controle postural estático e dinâmico, o corpo envolve um sistema complexo de estabilização, sendo que o sistema nervoso central integra informações sensoriais do sistema visual, vestibular, proprioceptivo e tátil (COLLINS e DE LUCA, 1993). Adequando-se a diversas posturas, o corpo oscila em todas as direções com atividade muscular variável (rápida e discreta) regulada por estímulos neurais para manter a projeção do centro de massa (CM) dentro dos limites da base de sustentação (MELLO *et al.*, 2007).

O controle adequado do equilíbrio na realização dos gestos motores é baseado principalmente em sinergias musculares que minimizam os deslocamentos do CM enquanto se mantém a orientação adequada (PERROT *et al.*, 2000; PERRIN *et al.*, 2002). No judô, os competidores devem controlar de forma eficiente a sua postura dinâmica, porque as técnicas desse esporte de combate são baseadas principalmente em deslocamento constante com o objetivo de perturbar o equilíbrio do adversário, a fim de projetá-lo. Então, durante a luta, cada atleta de judô aprende a utilizar situações de dinâmicas instáveis para transformá-las em vantagem própria, utilizando a estimulação muscular, articular e nos mecanorreceptores cutâneos para se adaptar às constantes modificações de postura, de base de suporte, de reações do solo e de contatos do adversário (PERROT *et al.*, 2000). Esse controle postural rigoroso é crucial para a precisão e eficiência das técnicas específicas do judô, dependendo fortemente, portanto, da informação das vias aferentes proprioceptivas (PERROT *et al.*, 2000).

A estabilometria é utilizada nas mais variadas áreas de estudo, principalmente em desportos que necessitam do equilíbrio para um melhor rendimento (CHIANG *et al.*, 2000;

PERROT *et al.*, 2000; PERRIN *et al.*, 2002; YOSHITOMI *et al.*, 2006; PAILLARD *et al.*, 2007). Uma plataforma de força é usada para monitorar o comportamento postural a fim de analisar a oscilação corporal por meio do centro de pressão dos pés (CP). O CP é a medida de deslocamento que indica o caminho do vetor resultante da força de reação do solo sobre a plataforma de força (HAMILL e KNUTZEN, 1999), o qual é decomposto em coordenadas mediolateral e anteroposterior e constitui uma representação resumida das mudanças de movimentos articulares no controle postural (DOYLE *et al.*, 2007). Tais mudanças têm relação direta com o deslocamento do vetor de projeção do CM (HAMILL e KNUTZEN, 1999). O CM e o CP possuem uma importante relação na manutenção da postura, sendo que o resultado da oscilação do CP causa o movimento do CM (RILEY *et al.*, 1997).

Utilizando como instrumento uma plataforma de força, o controle do equilíbrio estático e dinâmico foi tema de estudo para avaliar o mecanismo de resposta a perturbações externas em diferentes níveis de atletas de judô (YOSHITOMI *et al.*, 2006), e até mesmo a comparação da capacidade de equilíbrio estático e dinâmico entre os atletas de judô e não-atletas (CHIANG *et al.*, 2000). Além disso, outros autores procuraram analisar os registros posturográficos dinâmicos e estáticos de atletas de judô e bailarinas, objetivando determinar qual dessas modalidades apresenta o melhor controle de equilíbrio em situações inesperadas (PERRIN *et al.*, 2002). PAILLARD *et al.* (2007) e PERROT *et al.* (2000) buscaram avaliar a execução de técnicas do judô, sendo que o primeiro trabalho comparou o equilíbrio entre atletas com diferentes preferências de técnicas (mono e bipodal) e o segundo analisou a execução das técnicas em atletas de judô saudáveis com atletas em processo pós-cirúrgico. Segundo PAILLARD *et al.* (2007) os diferentes movimentos praticados em uma ou duas pernas induzem adaptações posturais específicas em judocas de competição, mostrando que os diferentes movimentos praticados no judô podem induzir adaptações posturais de acordo com a técnica utilizada. Por sua vez, PERROT *et al.* (2000) verificaram que a gravidade da patologia pareceu ser o principal parâmetro para prejudicar o controle do equilíbrio, enquanto a localização, a frequência e a diversidade do trauma tiveram apenas um impacto modesto. Isso mostra que os judocas previamente lesionados desenvolvem excelentes habilidades de adaptação sensorial e cognitiva às restrições que envolvem novos padrões de compensação e de esquema corporal.

A fim de investigar a diferença de capacidade de equilíbrio entre atletas de judô de elite e não atletas, CHIANG *et al.* (2000) dividiram a investigação em duas seções, sendo a primeira utilizando o teste de equilíbrio estático e a segunda seção o teste de equilíbrio

dinâmico. Nos testes estáticos os voluntários permaneceram na plataforma de força o máximo de tempo possível com os olhos fechados e em posição unipodal, bem como em uma segunda condição com a posição bípede e olhos abertos durante 20 s. Já para o teste dinâmico, o equilíbrio postural foi avaliado após uma perturbação externa exercida na altura do tronco do voluntário, mantendo os olhos abertos e a posição bípede. No equilíbrio estático, não houve diferença significativa no teste unipodal com olhos fechados entre os dois grupos, entretanto o raio de oscilação corporal do grupo de judocas foi significativamente menor do que o grupo masculino normal. Além disso, no teste de equilíbrio dinâmico também houve diferença significativa, sendo que o tempo de recuperação do equilíbrio dos atletas de judô foi menor em relação ao grupo controle. CHIANG *et al.* (2000) defenderam que o treinamento esportivo regular pode aumentar significativamente a capacidade de equilíbrio estático. Além do mais, as técnicas implementadas no judô necessitam desequilibrar o oponente sem perder o equilíbrio, condição que requer alta habilidade de controle postural em situações dinâmicas.

Como visto anteriormente, o atleta de judô necessita de um controle aprimorado do equilíbrio. Para avaliar tal padrão de controle, YOSHITOMI *et al.*, (2006) analisaram alterações posturais a partir de uma perturbação externa em atletas de judô de diferentes níveis, bem como grupo controle. Semelhante ao estudo anterior (CHIANG *et al.*, 2000), os atletas mantiveram-se sobre a plataforma de força em posição bípede com os olhos abertos e sofreram uma perturbação externa na altura da borda superior da escapula. Os resultados desse estudo mostraram que os atletas apresentaram melhor controle postural dinâmico em relação ao grupo de não atletas apresentando menor valor de velocidade de deslocamento do centro de pressão após a perturbação externa. Diante desse resultado, YOSHITOMI *et al.* (2006) sugeriram que os judocas ativam mais rapidamente a musculatura, porém com mais controle nas respostas corretivas.

PERROT *et al.* (2000) analisaram o comportamento do equilíbrio estático e dinâmico em atletas de judô com lesão no membro inferior nos últimos cinco anos e atletas de judô que nunca tiveram lesão no mesmo segmento. No estudo, foi observada uma melhor resposta tanto no teste estático quanto no dinâmico para atletas que apresentaram lesão no membro inferior. Segundo PERROT *et al.* (2000), as diferenças observadas entre os grupos não podem ser associadas ao nível de habilidade, pois todos os judocas foram submetidos ao mesmo tipo de treinamento. Entretanto, a discrepância observada pode estar relacionada a razões psicológicas. PERROT *et al.* (2000) hipotetizaram que, em função da lesão, os atletas adquiriram novas estratégias sensório-motoras, apresentando a atenção mais focada, maior

vigilância e consciência cognitiva, inicialmente usadas para evitar uma reincidência de lesão ou para proteger os membros danificados do choque. Sendo assim, os autores concluíram que embora as patologias traumáticas sejam induzidas pela prática do judô, esse esporte de combate leva os esportistas lesionados a adquirir novas habilidades fisiológicas e biomecânicas, permitindo uma melhor regulação do equilíbrio.

Além disso, PAILLARD *et al.* (2007) também estudaram o comportamento do controle postural ortostático em dois níveis (nacional e regional) de atletas de judô. Para comparação entre os dois grupos, diversas variáveis estabilométricas, tanto no domínio do tempo quanto da frequência, foram calculadas. Os resultados apresentaram uma diferença na dependência visual para o controle da postura estática entre os dois grupos, sendo que o desempenho do grupo nacional foi pior com o fechamento dos olhos em relação ao grupo regional. Sendo assim, PAILLARD *et al.* (2007) concluíram que a informação visual talvez tenha mais importância nas atividades posturocinéticas à medida que o nível de competição aumenta.

Em outro estudo associado com a capacidade de controle do equilíbrio, PERRIN *et al.* (2002) analisaram o desempenho estabilométrico estático e dinâmico de atletas de judô e bailarinos profissionais de alto nível, em termos de estratégias sensorio-motoras e adaptabilidades, a fim de determinar qual desses esportes apresentam melhor controle do equilíbrio. A amostra do estudo foi dividida em três grupos: atletas de judô, bailarinas e grupo controle (indivíduos fisicamente ativos). Testes estáticos e dinâmicos foram então realizados igualmente em todos os grupos, no qual o primeiro teste analisou os deslocamentos do centro da pressão no período de 20 s com os olhos abertos e depois 20 s com os olhos fechados, enquanto no teste dinâmico os sujeitos foram submetidos a uma oscilação rotacional lenta da plataforma de força com amplitude de 4°, na frequência de 0,5 Hz, por 20 s, também nas condições de olhos abertos e fechados. Como resultado do estudo, foi observado maior estabilidade no grupo de atletas de judô em relação ao grupo controle na condição de olhos fechado. Adicionalmente, os atletas de judô também apresentaram melhor controle postural de acordo com as variáveis estabilométricas quando avaliados no teste estático com os olhos fechados em comparação às bailarinas e o grupo controle. Segundo os autores, os resultados confirmam que atletas de alto nível exibem melhor controle de equilíbrio em relação ao grupo controle. Além disso, a aferência visual representou um importante senso utilizado pelas bailarinas para obter uma melhor regulação do equilíbrio; em contrapartida o treinamento de judô melhora o controle postural em qualquer circunstância de condição visual, em função de

privilegiar as aferências somatossensoriais como um componente essencial na manutenção do equilíbrio.

A capacidade de manter a estabilidade postural sob condições de fadiga durante a luta do judô é essencial para alcançar a vitória. Por isso, MALA *et al.* (2016) buscaram identificar a influência do esforço anaeróbio máximo na estabilidade postural entre atletas de judô de elite juniores e seniores. O teste de estabilidade foi composto por três testes parciais com os olhos abertos: posição bipedal durante 30 s, posição unipodal com a perna dominante e não dominante durante 60 s cada. O teste de equilíbrio foi realizado antes e depois do teste de esforço. Para tal, foi realizado o teste anaeróbio de Wingate para atingir o mais alto desempenho mecânico possível, do ponto de vista de velocidade e potência, e conseqüentemente gerar o esforço anaeróbio máximo. Após a análise dos dados, MALA *et al.* (2016) identificaram influência significativa do esforço anaeróbio em todas as condições em ambos os grupos. Também foi identificado um efeito significativo da classe (júnior ou sênior) sobre o nível de estabilidade postural, independentemente do tipo de teste realizado. Além disso, como o equilíbrio postural é uma capacidade importante no rendimento do judô, os atletas da classe sênior apresentaram estabilidade postural significativamente melhor em comparação aos juniores, possivelmente devido à maior experiência esportiva.

O equilíbrio e o seu tempo de reação são fatores chave no desempenho do judô. Entretanto, o estudo dessas variáveis influenciadas pela redução da massa corpórea anteriormente a competição, ainda não havia sido abordado. Sendo assim, MORALES *et al.* (2018) examinaram os efeitos da perda rápida e progressiva de peso no equilíbrio e no tempo de reação em atletas de elite de judô. O teste de equilíbrio foi realizado uma semana antes da pesagem e logo após a pesagem. Os atletas que perderam peso rapidamente apresentaram piores resultados nos índices estabilométricos principalmente em condições de olhos fechados em relação ao grupo que perdeu peso progressivamente.

SANTOS *et al.* (2018) avaliaram os efeitos do combate no controle postural dos atletas de judô, antes, durante e depois de uma luta simulada. SANTOS *et al.* (2018) verificaram que os parâmetros de análise do equilíbrio foram significativamente afetados pelo esforço durante a luta, mas atingiram níveis basais após 2 min do esforço. Sendo assim, as alterações do equilíbrio ocorrem efetivamente durante a luta, principalmente no eixo anterior-posterior. Entretanto, como os atletas de judô apresentam uma capacidade de estabilidade postural bem desenvolvida, eles recuperam rapidamente suas condições de equilíbrio após um descanso passivo de 2 min.

Pode-se perceber em todos os estudos que os atletas de judô apresentam um alto nível de controle do equilíbrio estático e dinâmico, importante para manter uma postura estável na maioria das circunstâncias durante a luta (PERRIN *et al.*, 2002). Além disso, diferentes movimentos praticados repetidamente podem induzir determinadas adaptações posturais, principalmente os movimentos específicos do esporte (PAILLARD *et al.*, 2007). O treinamento e a experiência tornam mais eficientes a ação motora e, por consequência, as respostas posturais (PAILLARD *et al.*, 2007). Aprender e treinar um esporte por um longo período parece melhorar a eficiência das respostas posturais envolvidas no controle do equilíbrio exigido pelo esporte, principalmente em esportes que demandam de alguma forma esse controle (YOSHITOMI *et al.*, 2006).

2.7 Métodos multivariados e seleção de variáveis no esporte

O uso de múltiplas variáveis na descrição de um fenômeno, seja para predição de alguma condição ou para classificação de grupos, tem a finalidade de determinar um índice capaz de sintetizar as informações contidas nessas múltiplas variáveis em uma variável única (MINGOTI, 2007). Sendo assim, diversos estudos buscaram aplicar os métodos multivariados com o intuito de solucionar problemas associadas ao rendimento esportivo, como: obter informações quantitativas na prevenção de lesão, seleção de novos talentos, desenvolvimento das metodologias de treinamento e o monitoramento das variações das características sazonais (RABADÁN *et al.*, 2011; FONTANA *et al.*, 2015; MIARKA *et al.*, 2017). O objetivo de aglutinar múltiplas variáveis para a descrição quantitativa a partir desses métodos estatísticos variaram desde a predição de desempenho em provas de corrida de longa e média distância (RABADÁN *et al.*, 2011), até a classificação das principais variáveis de rendimento de diferentes posições no rugby (FONTANA *et al.*, 2015).

Os métodos multivariados são ferramentas estatísticas que podem solucionar questionamentos que possam existir na prescrição do treinamento de atletas. Um caso importante que se insere nesse contexto é a influência dos fatores fisiológicos no desempenho de atletas em corrida de média e longa distância. Nessas duas classes de corredores, os métodos de treinamento são diferentes, levando a diferentes adaptações nos aspectos da aptidão aeróbia e gerando diferentes características antropométricas e fisiológicas. Sendo assim, RABADÁN *et al.* (2011) identificaram as variáveis fisiológicas que melhor predizem as características de um corredor de média ou longa distância. Dados de espirometria foram

obtidos em um teste de esforço para os dois grupos de atletas. Foi utilizada a regressão logística para determinar quais variáveis teriam maior influência na probabilidade de o atleta ser de longa ou média distância. O modelo multivariado classificou corretamente 84,7% dos atletas, selecionando as variáveis $\dot{V}O_{2,max}$, segundo limiar ventilatório e velocidade da corrida ao atingir o segundo limiar ventilatório como as que melhor discriminaram os corredores de meia e longa distância de elite.

As diferenças entre as características antropométricas apresentam importante relação entre o comportamento e as habilidades humanas. JAKSIC *et al.* (2014) buscaram detectar e definir os tipos morfológicos de alunos que cursam graduação em educação física utilizando o modelo de RNA. Baseado em doze medidas antropométricas, de dimensão longitudinal e transversal do esqueleto, massa corporal e dobras cutâneas, JAKSIC *et al.* (2014) aplicaram a rede multicamadas (*multi-layer perceptron*) para a classificação dos grupos morfológicos. Os resultados mostraram que o modelo foi capaz de identificar e definir os tipos morfológicos dos estudantes de educação física da universidade Novi Sad de forma rápida e exata, confirmando assim, segundo os autores, a aplicabilidade dessa ferramenta na classificação e caracterização de dados, bem como na seleção para diferentes esportes.

A determinação de características morfológicas dentro do esporte também é tema em diversos estudos. Segundo FONTANA *et al.* (2015), como os jogadores de rugby são organizados em posições de ataque e defesa e realizam diferentes atividades durante a partida, as demandas fisiológicas, as habilidades motoras e características antropométricas entre os dois grupos podem ser diferentes. Para confirmar tal fato, FONTANA *et al.* (2015) buscaram fornecer dados de referência sobre características antropométricas de jogadores de rugby entre três níveis de competitividade utilizando o método de RL. A RL foi aplicada para determinar quais variáveis melhor predisseram a designação de jogadores para os níveis internacional, nacional-A e nacional-B, classificando corretamente 74% dos casos. Das quatro variáveis preditoras (massa corporal, estatura, percentual de gordura corporal e massa livre de gordura), apenas massa livre de gordura foi estatisticamente significativa, indicando que para cada aumento em 1 kg de massa livre de gordura, a probabilidade de ser classificado como jogadores de nível internacional aumenta em 53%. Por meio da seleção mais exata e adequada de atletas e treinamento adequado para atender às demandas do jogo em cada categoria específica, o desempenho pode ser otimizado, minimizando o risco de uso excessivo e lesões agudas.

Outra aplicabilidade dos métodos multivariados em características fisiológicas humanas foi explorada por PEIXINHO *et al.* (2016). Como o alongamento é um método usado para aumentar a flexibilidade e reduzir o risco de lesões e dor associada à rigidez muscular, a caracterização dos parâmetros fisiológicos de indivíduos com diferentes níveis de flexibilidade é uma ferramenta muito importante na prevenção de lesão e aumento do rendimento esportivo. Sendo assim, PEIXINHO *et al.* (2016) utilizaram o método linear multivariado *k-means* para separar os voluntários em três grupos de acordo com o seu nível de flexibilidade e posteriormente, utilizando RNA, verificar se os voluntários que participaram da intervenção (treinamento de alongamento) apresentaram alteração no nível de flexibilidade, migrando entre os grupos. A análise de *k-means*, juntamente com RNA, foi capaz de identificar alterações nas características de flexibilidade nos indivíduos que sofreram intervenção, indicando que o treinamento de alongamento é capaz de promover mudanças, mostrando assim a eficiência dos modelos classificadores aplicados a variáveis fisiológicas em diferentes grupos.

As habilidades de movimento coordenativo no judô se referem à capacidade de um atleta realizar uma ação adequada no momento correto, enquanto se adapta rapidamente ao ambiente competitivo constantemente modificado. A caracterização do padrão de movimento nas competições internacionais de judô por gênero foi realizada por MIARKA *et al.* (2017), utilizando o modelo de rede neural probabilística. Uma grande quantidade de atletas de ambos os sexos foi estudada para identificar o padrão de movimentos durante as diferentes fases da luta. O modelo de rede neural probabilística, usando padrões das fases de preensão manual no judogi, momentos de ataque, luta no solo e pausas durante a luta, produziu uma acurácia de 76% para a discriminação das técnicas entre homens e mulheres. Além das classificações obtidas pelo modelo, MIARKA *et al.* (2017) concluíram que os resultados do estudo contribuíram para a literatura no desenvolvimento da inteligência artificial dentro das disciplinas de ciência do esporte e tecnologia da informação.

3. - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Classificação de dados e estatística multivariada

As tomadas de decisão na resolução de problemas do cotidiano devem, na maioria dos casos, levar em consideração muitos fatores, que nem sempre tem o mesmo peso no momento das escolhas. Considerando que a ciência tem por objetivos conhecer a realidade e interpretar os acontecimentos e os fenômenos, entende-se que é necessário analisar e avaliar as variáveis mais importantes no entendimento do fenômeno estudado (VICINI, 2005).

Quando a resolução de um fenômeno depende de muitas variáveis, o uso de ferramentas de análise multivariada faz-se necessário. Tal análise é utilizada em situações nas quais variáveis são medidas simultaneamente em cada elemento amostral (MINGOTI, 2007). Entre tais ferramentas, pode-se destacar técnicas de classificação e de discriminação de grupos. Muitas são as situações nas quais tem-se um conjunto de dados e busca-se uma divisão desses em grupos que tenham coesão interna e sejam heterogêneos entre si (MINGOTI, 2007). No presente estudo, pode-se destacar a RL entre as técnicas estatísticas de classificação de dados, que considera somente diferenças dicotômicas entre duas classes dando rótulos de 0 ou 1 para um dado item desconhecido (KLEINBAUM *et al.*, 1997). Além disso, destaca-se também o modelo de RNA, ferramenta inspirada no cérebro humano, no qual as respostas dos neurônios dependem de suas interconexões e têm a capacidade de aprender e se adaptar a um grande número de padrões não lineares (PEIXINHO *et al.*, 2016).

3.2 Regressão logística

A finalidade do método de regressão logística é estimar um modelo que melhor ajuste a relação entre uma variável dependente e um conjunto de variáveis independentes (KLEINBAUM *et al.*, 1998). No caso do modelo logístico a variável resposta é dicotômica, sendo determinada por meio de uma função probabilística.

Na área da saúde, a regressão logística é aplicada com o objetivo de investigar a relação entre variáveis preditivas e uma variável desfecho do tipo dicotômica (MERLO *et al.*, 2006). O modelo logístico é uma estratégia analítica simples e objetiva para solucionar esses problemas.

Considere-se duas populações amostradas e que cada elemento amostral seja caracterizado por um vetor de variáveis $\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_p]'$. No modelo logístico, a probabilidade de um elemento dado pelo vetor \mathbf{x} pertencer a cada uma das populações é estimada por (MINGOTI, 2007):

$$\rho(1) = \text{prob}(1/\mathbf{x}) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta' \mathbf{x})}{1 + \exp(\beta_0 + \beta' \mathbf{x})} \quad (1)$$

$$\rho(2) = \text{prob}(2/\mathbf{x}) = \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 + \beta' \mathbf{x})} \quad (2)$$

em que $\rho(1) + \rho(2) = 1$ e os coeficientes de ajuste β_0 e $\beta = (\beta_1 \ \beta_2 \ \beta_3 \ \dots \ \beta_p)$ são estimados pelo método de máxima verossimilhança. Em linhas gerais, o modelo logístico aparece da seguinte forma: seja z uma variável que assume o valor 1 se o elemento amostral com o vetor de observações \mathbf{x} pertence à população 1; e o valor 0 pertence à população 2 (MINGOTI, 2007). Considerando-se o modelo de regressão linear múltipla para o logaritmo da razão entre as probabilidades de z assumir os valores 1 e 0, tem-se:

$$\ln\left(\rho\left(\frac{z = 1/\mathbf{x}}{z = 0/\mathbf{x}}\right)\right) = \beta_0 + \beta' \mathbf{x} \quad (3)$$

Após o ajuste do modelo logístico, os escores de cada elemento amostral das populações 1 e 2 são calculados, sendo cada elemento classificado como pertencente à população cuja probabilidade $p(k)$ é maior, onde $k = 1$ ou $k = 2$ (MINGOTI, 2007). Nesse caso, a função que separa as duas populações pode ser definida como:

$$p(1) = p(2) = 0,5 \quad (4)$$

onde

$$\beta_0 + \beta' \mathbf{x} = 0 \quad (5)$$

3.3 Redes Neurais Artificiais

As RNA são modelos matemáticos não lineares inspirados em estruturas microscópicas do sistema nervoso que, a partir do aprendizado e da generalização das informações, adquirem capacidade de inferência computacional. O mecanismo biológico inspirador desse modelo está relacionado com as características funcionais de um neurônio, célula que apresenta em sua formação um corpo celular e extensões filamentosas, conhecidas como dendritos e axônio. O seu funcionamento inicia-se a partir do recebimento de informações do terminal axônico de outro neurônio para os seus filamentos de entrada, os dendritos. Caso essa informação de entrada gere um estímulo acima do limiar de excitabilidade, o neurônio processará essa informação, produzindo como resposta um impulso nervoso (potencial de ação) (DUTT-MAZUMDER *et al.*, 2011).

Pelo processo de treinamento, as RNA podem descobrir relações complexas não lineares entre as variáveis de entrada e de saída, como pode ser visto nas figuras 3 e 4, estabelecendo um comportamento global e complexo definido pelas conexões entre os elementos de processamento e os seus parâmetros (taxa de aprendizado, peso, função de ativação, bias) (DUTT-MAZUMDER *et al.*, 2011). Esse modelo de processamento não linear possui uma poderosa capacidade de classificação e reconhecimento de padrões, que permite modelar problemas reais, biológicos e físicos, solucionando tarefas em diferentes áreas (WIDROW *et al.*, 1990).

Entendendo-se que as RNAs são modelos de sistemas nervosos biológicos e seus processadores ou controladores apresentam a capacidade de adaptar-se em tempo real, diferentes métodos de RNA podem ser empregados com diferentes regras de aprendizado (SARLE, 1994). As RNA determinam padrões estatísticos de um conjunto de amostras de treinamento para classificar um novo padrão com base nessas estatísticas. As RNA apresentam entradas do neurônio que correspondem a respectivos vetores. Para cada entrada, associa-se um peso correspondente, sendo que o somatório destas, ponderadas pelo peso corresponde a um resultado linear. A saída do neurônio é obtida a partir da aplicação de uma função de ativação, assumindo as seguintes formas possíveis: linear, rampa, degrau, sigmoide, tangente hiperbólica, logística.

Entre as diversas RNA, pode-se destacar a MLP. Esse método consiste em neurônios interconectados, em que as entradas são somadas e mapeadas por uma função de ativação, gerando a saída. A arquitetura geral do MLP consiste em uma camada de entrada, N camadas

ocultas e uma camada de saída. A camada oculta apresenta com um número finito de neurônios que é capaz de representar uma ampla variedade de funções contínuas. A quantidade de variáveis nas camadas de entrada e saída será o mesmo que o número de neurônios dessas camadas (HAYKIN, 1998). Um número excessivo de neurônios pode causar superespecialização (*overfitting*) e um pequeno número pode gerar classificação incorreta (*underfitting*). A saída de um único neurônio oculto neu_j com uma função de ativação f é:

$$neu_j = f \left(\sum_i w_{ji} x_i + b_{ji} \right) \quad (4)$$

x_i são as variáveis de entrada, w_{ij} e b_{ij} são os pesos e a tendência de uma entrada i para um neurônio oculto j , respectivamente. Somando todos os neurônios, a saída de rede y é:

$$y = g \left(\sum_j v_{ji} neu_j + \theta_j \right) \quad (5)$$

v_{ji} são os pesos de interconexão dos neurônios ocultos e da saída e θ_j é a polarização, respectivamente. Durante o treinamento da rede, os pesos e as tendências mudam a cada iteração para minimizar a soma dos erros quadrados E :

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_i - t_i)^2 \quad (6)$$

y_i é a saída da rede para cada dado e t_i é o valor correto da saída. O processo de treinamento mencionado acima é conhecido como aprendizado supervisionado e consiste na comparação entre os resultados gerados pela rede e os valores reais, usando um algoritmo de retropropagação do erro (*back-propagation*). Em outras palavras, após a comparação, o erro é propagado novamente pela rede e os pesos são atualizados até que essa função de erro atinja seu mínimo.

Segundo GARDNER e DORLING (1998), a MLP é uma ferramenta útil para predição, aproximação de funções e classificação, além de ser um sistema de modelagem capaz de reproduzir com acurácia qualquer relação de dados mensurável, principalmente em sistemas não lineares. Sendo assim, a MLP é uma eficiente ferramenta discriminante, principalmente para reconhecimento de problemas de duas ou múltiplas classes.

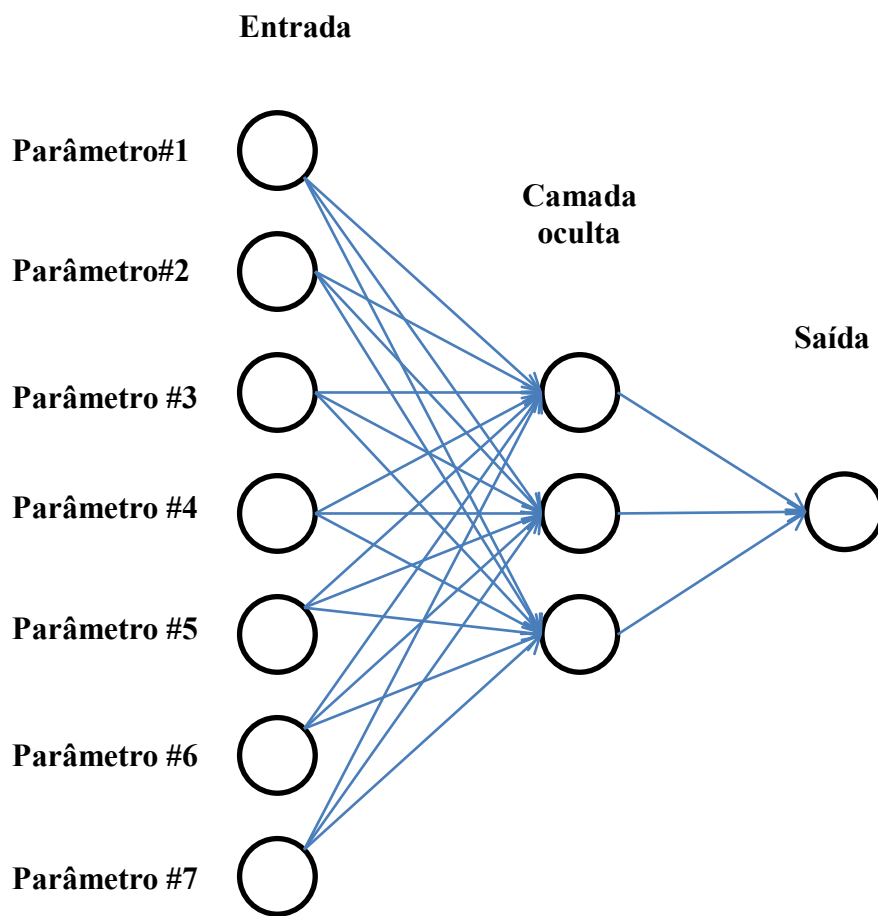


Figura 3 - MLP com 7 variáveis de entrada e 3 neurônios na camada oculta.

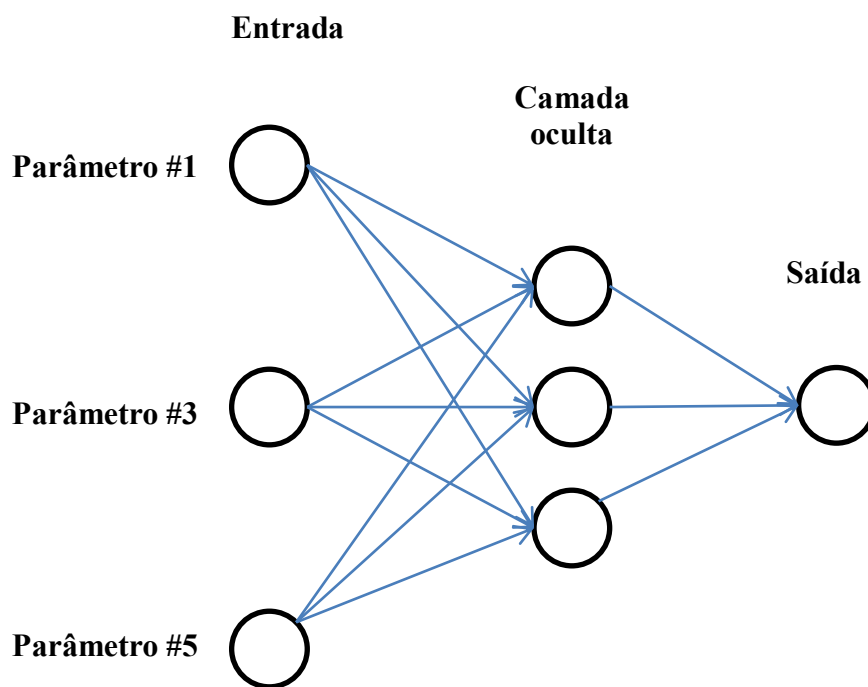


Figura 4 - MLP com 3 variáveis de entrada e 3 neurônios na camada oculta.

3.4 Seleção das variáveis

Em modelos com múltiplas variáveis, os coeficientes que representam os modelos são testados estatisticamente, no qual cada teste é usado progressivamente para construir modelos (seleção passo a passo ou *stepwise*) (JOLLIFFE, 2002). Os testes mais utilizados são: (1) *forward*, no qual o modelo inicia-se vazio e as variáveis significativas são adicionadas uma a uma, sucessivamente; (2) *backward*, no qual o modelo inicia-se completo e as variáveis menos significativas são removidas progressivamente; e (3) seleção *stepwise*, onde as variáveis são alternadamente adicionadas e removidas, sendo uma combinação dos dois modelos anteriores (MINGOTI, 2007).

Além dos modelos lineares de seleção de variáveis, pode-se destacar o modelo não linear algoritmo genético. Esse método, aplicado para seleção de variáveis, se baseia em uma busca estocástica para resolver problemas de otimização definidos por critérios de aptidão, aplicando a hipótese de evolução de Darwin e diferentes funções genéticas, ou seja, cruzamento e mutação (HECKERLING *et al.*, 2004). Algoritmos genéticos HECKERLING *et al.* (2004), baseados em princípios evolutivos quase darwinianos, podem ser usados para implementar estratégias eficientes de busca para configurações ótimas de de análise multivariada. Em um algoritmo genético, os parâmetros de entrada são representados por "cromossomos" matemáticos, que podem ser modificados por mutação e por recombinação em um processo análogo ao cruzamento durante a meiose. As redes baseadas nessas estruturas genotípicas são testadas quanto à 'aptidão' fenotípica, com base na sua precisão preditiva, e são propagadas para as gerações subsequentes proporcionalmente à sua adequação. Os ciclos de recombinação, mutação e seleção baseada em condicionamento físico são iterados até que os cromossomos que representem suficientemente de forma precisa evoluam. Algoritmos genéticos têm sido utilizados com RNA para busca de variáveis de entrada, ou para determinar o número de nós ou conexões na rede. Usamos um algoritmo genético para procurar arquiteturas ideais, conectividade e parâmetros de treinamento para prever respostas sobre questões levantadas na área da saúde HECKERLING *et al.* (2004).

3.5 Validação do modelo

Estudos da área da saúde que utilizam métodos de classificação de dados sofrem, geralmente dificuldades com o tamanho amostral, fato que pode influenciar no ajuste do modelo, acarretando o problema chamado *overfitting*. O *overfitting* ocorre quando o método estimado alcança bons resultados apenas nos dados que foram ajustados, não sendo generalizável. Para evitar esse inconveniente e melhorar a estimativa do erro de classificação, sem diminuir o tamanho amostral, o método de validação cruzada é o mais indicado.

A validação cruzada é uma técnica para avaliar a capacidade de generalização de um modelo, a partir de um conjunto de dados (PICARD e COOK, 1984; KOHAVI, 1995). Esta técnica é amplamente empregada em problemas nos quais o objetivo da modelagem é a predição. Em estudos em que os métodos de classificação são utilizados, a validação cruzada busca quantificar a precisão do modelo estimado, determinando o nível de desempenho do seu modelo para um conjunto de dados independentes daquele utilizado no treinamento.

3.5.1 Validação cruzada K-fold

Neste método, realiza-se o particionamento do conjunto de dados, dividindo a amostra em K subconjuntos (*K-folds*), sendo que um dos subconjuntos é utilizado como teste (validação do modelo) e o restante dos subconjuntos é utilizado no treinamento e, por conseguinte, na estimação dos parâmetros do modelo. Seguindo a mesma arquitetura de particionamento, repete-se o treinamento K vezes, alternando-se o subconjunto de teste, e o erro de classificação é avaliado pela soma dos erros encontrados em todas as observações (PICARD e COOK, 1984; KOHAVI, 1995).

3.5.2 Leave-one-out

Em pequenos conjuntos de dados o método de validação de dados mais indicado é o *leave-one-out* (PICARD e COOK, 1984; KOHAVI, 1995). Nesse caso, o subconjunto retirado para teste é representado por apenas uma amostra dos dados avaliados. Para um dado conjunto com N observações, uma é removida, formando um novo conjunto de dados (N - 1), utilizado para a obtenção do classificador. A observação excluída é testada usando esse classificador. A seguir é reinserida no grupo e uma próxima observação é retirada. Esse processo é repetido até todas as observações serem deixadas de fora (PICARD e COOK, 1984; KOHAVI, 1995). Assim, o desempenho do classificador pode ser estimado com todas as observações

disponíveis. Como todos os dados do conjunto amostral são utilizados no treinamento, é possível evitar que esse método seja tendencioso e conseqüentemente consiga gerar um classificador acurado.

3.5.3 *Bootstrap*

Outro método de validação cruzada para pequenos conjuntos de dados é o bootstrap. Nesse método heurístico, os dados representam a população da qual foram extraídos, e a amostragem de uma observação entre os dados observados pode, assim, ser substituída por amostragem da própria população. O bootstrap é uma técnica de reamostragem com substituição de um conjunto de dados com N exemplos. A seleção desses exemplos ocorre aleatoriamente sendo utilizado como conjunto de treinamento e os exemplos restantes, que não foram selecionados, são utilizados para teste (HENDERSON, 2005). Esse processo é repetido muitas vezes até que os índices de validação cruzada sejam satisfatórios.

3.5.4 *Avaliação dos modelos*

Após a aplicação do método é necessário avaliar o desempenho do modelo ajustado, a fim de analisar a capacidade do teste em distinguir entre a amostra que faz parte do grupo controle (verdadeiro positivo) e o grupo a treinado (verdadeiro negativo). Para avaliar a capacidade de predição do classificador, são utilizados valores de acurácia, sensibilidade, especificidade e área sob a curva característica de operação do receptor (AUC) (HERNÁNDEZ-CARABALLO *et al.*, 2005; SUBASI e ERÇELEBI; 2005). A acurácia representa o número correto de amostras classificadas, verdadeiro positivo (VP) e verdadeiro negativo (VN) dividido pelo total de amostras, incluindo falso negativo (FN) e falso positivo (FP):

$$Acuracia = \left(\frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} \right) \cdot 100\% \quad (7)$$

FP representa falso positivo e FN falso negativo.

O percentual de amostras positivas que foram classificadas corretamente com relação ao total de amostras da classe positiva, incluindo aquelas erroneamente classificadas, representa a sensibilidade do modelo. Este parâmetro é calculado dividindo o número de amostras

corretamente classificadas (VP) pelo número total de amostras do modelo ($VP + FN$) (HERNÁNDEZ-CARABALLO *et al.*, 2005).

$$\text{Sensibilidade} = \left(\frac{VP}{VP + FN} \right) \cdot 100\% \quad (8)$$

O valor de especificidade é calculado dividindo-se o total de amostras do grupo controle classificadas corretamente (VN) pelo total de amostras pertencentes a esse grupo ($VN + FP$). Especificidade, também conhecida como relação verdadeiro negativo, é calculada pela equação (SUBASI e ERCELEBI, 2005):

$$\text{Especificidade} = \left(\frac{VN}{VN + FP} \right) \cdot 100\% \quad (9)$$

Além disso, o desempenho do modelo pode ser avaliado a partir da AUC, que é a relação normalmente antagônica, entre a sensibilidade e a especificidade calculada no modelo. A AUC é uma ferramenta poderosa para medir e especificar problemas no desempenho do diagnóstico em medicina, por permitir estudar a variação da sensibilidade e especificidade para diferentes valores de corte. O seu índice é obtido a partir da fração de verdadeiros Positivos dos Positivos Totais ($RPV=PV/P$) versus a fração de falsos Positivos dos Negativos Totais ($RPF=PF/N$), sendo RPV a sensibilidade e RPF a especificidade.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Casuística

O presente estudo avaliou 42 atletas masculinos de judô de dois grupos: N_{nacional} (medalhistas de torneios nacionais) - 14 atletas que participam de competições em nível nacional, com idade de 23 ± 4 anos (média \pm desvio padrão), massa corporal $78,01 \pm 15,02$ kg e estatura $1,74 \pm 0,07$ m; N_{estadual} (competidores de torneios do estado do Rio de Janeiro) - 28 atletas do nível estadual, com idade de 24 ± 4 anos, massa corporal $80,41 \pm 13,12$ kg e estatura $1,75 \pm 0,07$ m. Todos os atletas seguiram os critérios de inclusão: (1) ter mais de cinco anos de prática de judô; (2) sem história de distúrbios neurológicos, doenças cardiovasculares ou ortopédicas nos últimos seis meses; (3) participação em competições oficiais de judô durante o mesmo ano; (4) treinar pelo menos três vezes por semana; (5) no mínimo faixa roxa (2º Kyu); (6) idade maior ou igual a 16 anos. Os sujeitos foram orientados a não realizar atividade física por um período de 24 h antes do teste.

O protocolo experimental foi aprovado pelo comitê de ética do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho [CAAE – 42859115.0.0000.5257] (ANEXO I).

4.2 Instrumentação

Para a antropometria, foram utilizados uma balança mecânica (Welmy, Brasil), um adipômetro (Lange, EUA), um paquímetro (Cescorf, Brasil) e uma fita métrica (Cescorf, Brasil). Para o SJFT foi utilizado um frequencímetro Polar™ A300 (Polar Electro Oy, Finlândia). Para a avaliação da força foi utilizado um dinamômetro manual (EMGSystem, Brasil), um dinamômetro de tronco (EMGSystem, Brasil) e um dinamômetro escapular (EMGSystem, Brasil). Sinais dinamométricos foram obtidos por um módulo eletromiográfico (EMG System, Brasil) com uma frequência de amostragem de 2000 Hz. Os testes estabilométricos foram realizados em uma plataforma de força desenvolvida sob encomenda, contendo quatro células de carga GLK 200 kgf (Kratos, Brasil), um amplificador (Kratos, Brasil) e um conversor analógico-digital USB-6211 (National Instruments, EUA) com 16 bits de resolução e faixa dinâmica ± 10 V, e os sinais foram obtidos a uma frequência de amostragem de 50 Hz.

Para desenvolvimento de rotinas de processamento e análise estatística, utilizou-se o aplicativo Matlab (The MathWorks, EUA). Para aquisição dos sinais, foram utilizados aplicativos próprios dos equipamentos ou programas desenvolvidos utilizando o aplicativo Matlab (The MathWorks, EUA).

4.3 Protocolo Experimental

Os testes foram realizados em três dias, com um intervalo mínimo de 48 h. A sequência de testes foi a seguinte:

4.3.1 Dia 1 (Antropometria e Estabilometria)

Primeiramente os atletas foram submetidos a um questionário (ANEXO III), com o objetivo de obter informações sobre seus hábitos e características.

Em seguida, foi realizada a avaliação antropométrica composta pelas seguintes medidas: massa corporal, dimensionalidade longitudinal esquelética (Tabela 2), dimensionalidade transversa do esqueleto (Tabela 3), circunferências dos membros e do tronco (Tabela 4) e dobras cutâneas (Tabela 5). A densidade corporal foi estimada a partir do protocolo de três dobras cutâneas descrito por JACKSON e POLLOCK (1978):

$$DC \text{ (g/cm}^3\text{)} = 1,112 - 0,00043499 \text{ (Sdc)} + 0,00000055 \text{ (Sdc}^2\text{)} - 0,00028826 \text{ (I)} \quad (10)$$

em que DC representa a densidade corporal, Sdc a soma das três dobras cutâneas (tórax, abdominal e coxa) e I a idade. O percentual de gordura foi obtido a partir da seguinte equação:

$$G \text{ (\%)} = [(4,95 / DC) - 4,50] \times 100 \quad (11)$$

A massa muscular foi estimada a partir da equação descrita por MARTIN *et al.* (1990):

$$MM \text{ (g)} = E \cdot (0,0553 \cdot CC^2 + 0,0987 \cdot CA^2 + 0,0331 \cdot CP^2) - 2445 \quad (12)$$

MM representa a massa muscular, E a estatura, CC a circunferência de coxa corrigida (subtraída pela dobra cutânea de coxa), CA a circunferência de antebraço corrigida (subtraída

pela dobra cutânea de antebraço) e CP e a circunferência de perna corrigida (subtraída pela dobra cutânea medial da perna). A massa óssea foi estimada a partir da equação descrita por Von Döbeln e modificada por ROCHA (1975):

$$MO \text{ (kg)} = 3,02 \cdot (E^2 \cdot R \cdot F \cdot 400) 0,712 \quad (13)$$

MO representa a massa óssea, E representa a estatura, R o diâmetro bi-estiloídeo do punho e F diâmetro bi-epicondiliano do fêmur.

Tabela 2 – Medidas antropométricas para a dimensionalidade longitudinal esquelética

Segmento	Medidas antropométricas
Estatura	Altura de vértex
Braço	Distância entre acrômio e cabeça do rádio com o cotovelo flexionado
Antebraço	Distância entre cabeça do rádio e processo estilóide
Mão	Distância entre processos estilóide e dactiloidal
Envergadura	Glenoumeral a 90° de abdução, palmas das mãos voltadas para frente e cotovelos estendidos. Distância entre os dactiloidais
Comprimento membro superior	Distância entre acrômio e dactiloidal
Coxa	Distância entre trocanter maior e cabeça da fíbula
Perna	Distância entre cabeça da fíbula e maléolo lateral
Pé	Distância entre Pternial até acropodial
Comprimento membro inferior	Diantância entre trocanter maior e o chão
Troncocefálico	Distância entre vértex da cabeça e espinha isquiática

Tabela 3 – Medidas antropométricas para dimensionalidade transversa esquelética

Segmento	Medidas antropométricas
Diâmetros biacromial	Distância biacromial
Torácico transverso	Largura do tórax na altura da sexta costela, após inspiração máxima
Torácico antero-posterior	Distância entre processo xifóide e a respectiva vértebra, após inspiração máxima
Biepicondiliano do úmero	Distância entre epicôndilos do úmero
Biestiloidal	Distância entre processos estilóides
Bicristal	Distância entre cristas ilíacas
Bitrocantérico	Distância entre trocanteres maiores
Biepicondiliano do fêmur	Distância entre epicôndilos do fêmur
Bimaleolar	Distância entre maléolos

Tabela 4 – Medidas antropométricas para as circunferências dos membros e do tronco

Segmento	Medidas antropométricas
Braço	Metade da distância entre acrômio e olécrano (indivíduo em pé com os braços abduzidos a 90° e cotovelos estendidos)
Antebraço	Ponto de maior circunferência do antebraço
Pescoço	Ponto médio da altura do pescoço
Tórax	No meio do esterno, um pouco acima dos mamilos.
Abdome	Altura da cicatriz umbilical
Quadril	Altura do trocanter maior
Coxa	Um terço da distância entre o ligamento inguinal e a borda superior da patela
Perna	Ponto de maior circunferência

Tabela 5 – Medidas antropométricas para as dobras cutâneas

Segmento	Medidas antropométricas
Tórax	Terço médio da linha entre a prega axilar anterior e o mamilo
Tríceps	Paralelamente ao eixo longitudinal, no terço médio da distância entre o acrômio e o olécrano
Subescapular	Obliquamente em relação ao eixo longitudinal, a dois centímetros abaixo do ângulo inferior da escápula
Abdominal	Paralelamente ao eixo longitudinal, 1cm à direita da cicatriz umbilical.
Suprailíaca	Obliquamente em relação ao eixo longitudinal, na metade da distância entre o último arco costal e a crista ilíaca, sobre a linha axilar média
Coxa	Paralelamente ao eixo longitudinal, sobre o músculo reto femural e na metade da distância do ligamento inguinal e a borda superior da patela
Perna	Paralelamente ao eixo longitudinal, na face medial da perna, no ponto de maior perímetro

Com os dados de massa corporal e dobras cutâneas, foram estimados os estratos da massa corporal como a massa magra e a massa de gordura, bem como os respectivos percentuais.

Após a antropometria, o equilíbrio dos atletas foi avaliado por meio de uma plataforma de força. Os participantes da pesquisa subiram na plataforma com pés descalços e os membros superiores relaxados ao longo do corpo. A seguir, foram submetidos a um protocolo de testes que consistia em cinco condições, que foram aplicadas de forma aleatória: olhos abertos e pés confortavelmente afastados (OAPA); olhos abertos e pés com 2 cm de distância entre os calcâneos e o antepé lateralmente girado a 30° (OAPF); olhos fechados e pés confortavelmente afastados (OFPA); olhos fechados e pés com 2 cm de distância entre os calcâneos e o antepé lateralmente girado a 30° (OFPF); olhos abertos em posição unipodal do lado dominante (OAUP). Nas condições de olhos abertos os sujeitos focalizaram um ponto fixo (círculo com aproximadamente 5 cm de diâmetro) posicionado na altura dos olhos a uma

distância de 1,5 m. Os atletas de judô permaneceram sobre a plataforma por um período 2 min em cada condição, com um intervalo de 2 min de repouso (sentados) entre os mesmos. Os primeiros 30 s de cada condição não foram analisados para evitar transientes não estacionários (CARROLL & FREEDMAN, 1993).

4.3.2 Dia 2 (Dinamometria)

Os atletas foram submetidos a três testes de dinamometria para a avaliação da força estática e resistência muscular localizada. No teste de dinamometria escapular, os atletas se posicionaram de acordo com a Figura 3A e realizaram abdução horizontal da glenoumeral e adução escapular. No teste de prensão manual (Figura 3B), os atletas seguraram o dinamômetro com o cotovelo estendido e membro superior ao longo do corpo. Para o teste de dinamometria lombar, os atletas se posicionaram de acordo com Figura 3C e realizaram a extensão do tronco. Para os três testes os atletas produziram o máximo de força estática possível até a exaustão, a fim de prover informações a respeito do pico e da taxa de decrescimento de força.

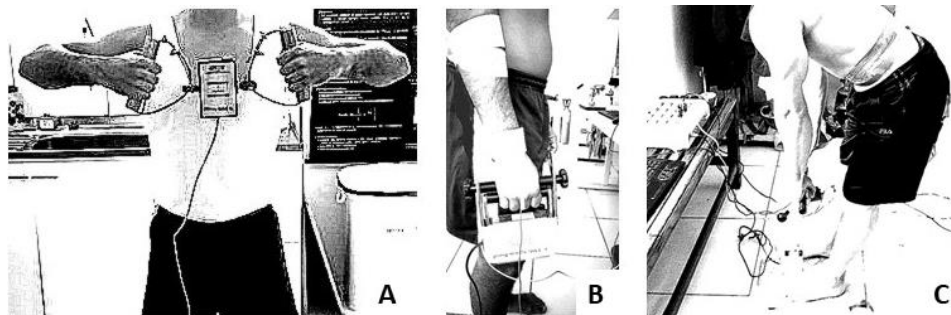


Figura 5 - (A) Dinamômetro escapular; (B) Dinamômetro de prensão manual; (C) Dinamômetro de tronco.

4.3.3 Dia 3 (*Special Judô Fitness Test*)

Os atletas foram submetidos ao teste específico de judô, o Special Judo Fitness Test (SJFT) (FRANCHINI *et al.*, 2009), para avaliar a velocidade, a resistência aeróbia e anaeróbia, o controle durante execução do golpe e a capacidade de recuperação.

4.4 Pré-processamento

Os sinais de estabilometria e dinamometria foram pré-processados por um filtro digital passa-baixas Butterworth de 2^a ordem com frequência de corte de 5 Hz e 2 Hz,

respectivamente. Os filtros foram aplicados nos sentidos direto e reverso para evitar distorções de fase.

4.5 Processamento

Um procedimento de *linear detrend* foi aplicado aos sinais de deslocamento do centro de pressão (CP) nas direções ântero-posterior (CPy) e mediolateral (CPx) antes das análises espectrais. Três variáveis estabilométricas foram calculadas : velocidade média (VM), área elíptica (AE) e frequência mediana (F_{mediana}). A VM corresponde à razão entre o comprimento de deslocamento (comprimento total do CP) e a duração do teste, enquanto a AE foi calculada a partir da análise de componentes principais (OLIVEIRA *et al.*, 1996). Finalmente, obteve-se a F_{mediana} do sinal pela da equação:

$$\sum_{i=1}^{F_{\text{mediana}}} X(i) = \sum_{i=F_{\text{mediana}}}^M X(i) \quad (15)$$

em que $X(i)$ é o i -ésimo componente do espectro discreto de potência e M é o maior harmônico considerado (25 Hz).

Para avaliar o rendimento do atleta na execução das dinamometrias, foram identificadas duas variáveis: força máxima (FM) e resistência muscular localizada (RML). Para a FM, o valor máximo de força foi identificado nos 20 s iniciais. Por sua vez, o índice RML foi calculado a partir do coeficiente angular da curva de redução de força, obtida por regressão linear.

4.6 Seleção das variáveis

Os dados (Tabela 6) foram organizados em uma matriz (42 x 78), na qual as linhas correspondiam aos participantes (42), e a coluna às variáveis (78). É importante notar que a ordem das variáveis não altera os resultados. Antes de ajustar os modelos, os métodos de seleção *stepwise forward* e *backward* foram utilizados para selecionar as variáveis com maior contribuição no respectivo modelo de classificação. Além disso, também foi testado o método do algoritmo genético com 100 gerações e utilizando a área sob a curva característica de operação do receptor como função de adequação para selecionar variáveis.

Como a seleção *forward stepwise* obteve resultados significativos ($p < 0,05$) e mais simples (sete variáveis selecionadas) do que a seleção *backward stepwise* (40 variáveis selecionadas) e o algoritmo genético (25 variáveis selecionadas), esta seleção foi utilizada para todas as análises subsequentes.

Para maior redução do número de variáveis, foi realizada uma análise combinatória das sete variáveis previamente selecionadas, combinando duas, três, quatro, cinco e seis de cada vez. Uma combinação de três variáveis apresentou melhor desempenho, conforme avaliado pela AUC.

Tabela 6 – Organização das variáveis utilizadas na aplicação dos classificadores

Sequência	Variáveis
1-12	Dimensionalidade longitudinal esquelética
13-21	Dimensionalidade transversa esquelética
22-30	Circunferências dos membros e do tronco
31-37	Dobras cutâneas
38-41	Dados mensurados no SJFT (Índice; FC _{final} ; FC _{1min} ; número de arremessos)
42-47	Índices de composição corporal e respectivos percentuais
48-72	Estabilometria
73-78	Dinamometria

4.7 Aplicação do classificador

Os métodos RL e o MLP foram utilizados para classificar os participantes dos grupos N_{nacional} e N_{estadual} . Para avaliar seus desempenhos, os valores de precisão, sensibilidade, especificidade e AUC foram calculados. O MLP foi testado com uma camada escondida com diferentes números de neurônios, e os melhores resultados por inspeção visual da AUC foram obtidos com três neurônios. Os dois modelos foram aplicados às sete variáveis selecionadas no *forward stepwise*, assim como às três variáveis selecionadas após a análise combinatória, e testadas usando *leave-one-out* (100 interações que geraram os desempenhos iguais para o método RL) e *bootstrap* (100 interações).

Como a distribuição amostral por grupo foi desequilibrada (N_{nacional} com 14 atletas e N_{estadual} com 28 atletas), uma redução da amostragem (HE e GARCIA, 2009) também foi aplicada para garantir que os resultados dos modelos fossem confiáveis. Para isso, os grupos

foram equilibrados, retirando aleatoriamente 14 participantes do grupo N_{estadual} e repetindo 100 vezes esse passo para o ajuste dos dois modelos. A redução do tamanho da amostra foi realizada para o grupo de sete variáveis selecionadas na seleção *forward stepwise* e três variáveis da análise combinatória, utilizando a mesma abordagem original para avaliação de desempenho (validação cruzada). Para comparação estatística entre o RL e o MLP, os vetores referentes aos índices de AUC foram testados pelo teste de Wilcoxon para cada validação cruzada *leave-one-out* e *bootstrap*, considerando dados não-balanceados e balanceados (DEMSAR, 2006). O nível de significância de 0,05 foi adotado para todos os testes.

5. RESULTADOS

A seleção das variáveis pelo *forward stepwise* mostrou que sete variáveis contribuíram para a regressão logística (Tabela 7).

Tabela 7 - Variáveis selecionadas no *forward stepwise* e respectivos valores p

Variável	Valor p
Biepicondiliano do úmero	0,0104
Diâmetro bitrocantérico	0,0047
Dobra cutânea de coxa	0,0001
Total de projeções realizadas no SJFT	$1,26 \times 10^{-6}$
F _{mediana} do deslocamento do CP no eixo Y e na condição OAPA	0,0359
VM do CP no eixo X e na condição OAUP	0,0113
VM do CP no eixo X e na condição OFPA	0,0011

Os respectivos coeficientes da RL foram: -2,91; 0,098; 0,029; -0,005; 0,034; 0,205; 0,009; 0,036.

Na Figura 6 (A-G) é possível observar a clara diferença na dispersão dos dados entre os dois grupos estudados.

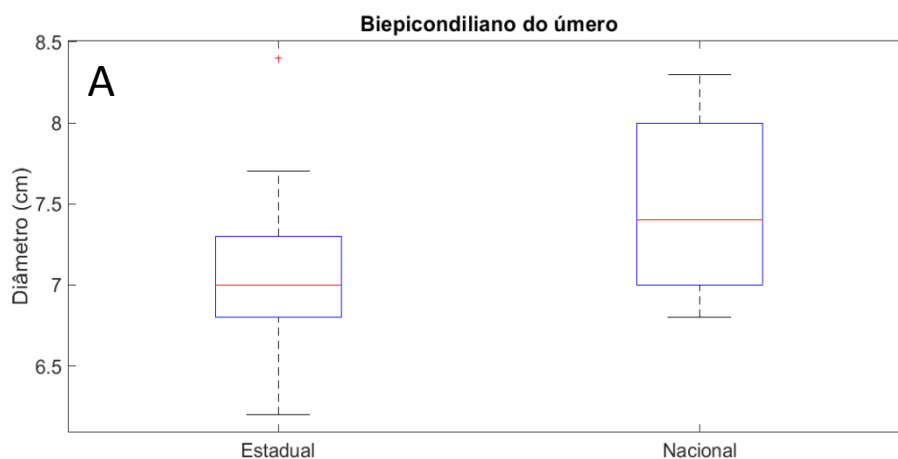


Figura 6 - Diagrama de caixa dos atletas de nível nacional (N) e nível estadual (E) em todas as categorias de peso para as variáveis selecionadas (*forward stepwise*): Biepicondiliano do úmero (A), diâmetro Bitrocantérico (B), dobra cutânea de coxa (C), total de quedas realizadas no teste (D), frequência mediana do deslocamento do CP no eixo Y e na condição OAPA (E), velocidade média do CP no eixo X e na condição OAUP (F), velocidade média do CP no eixo X e na condição OFPA (G).

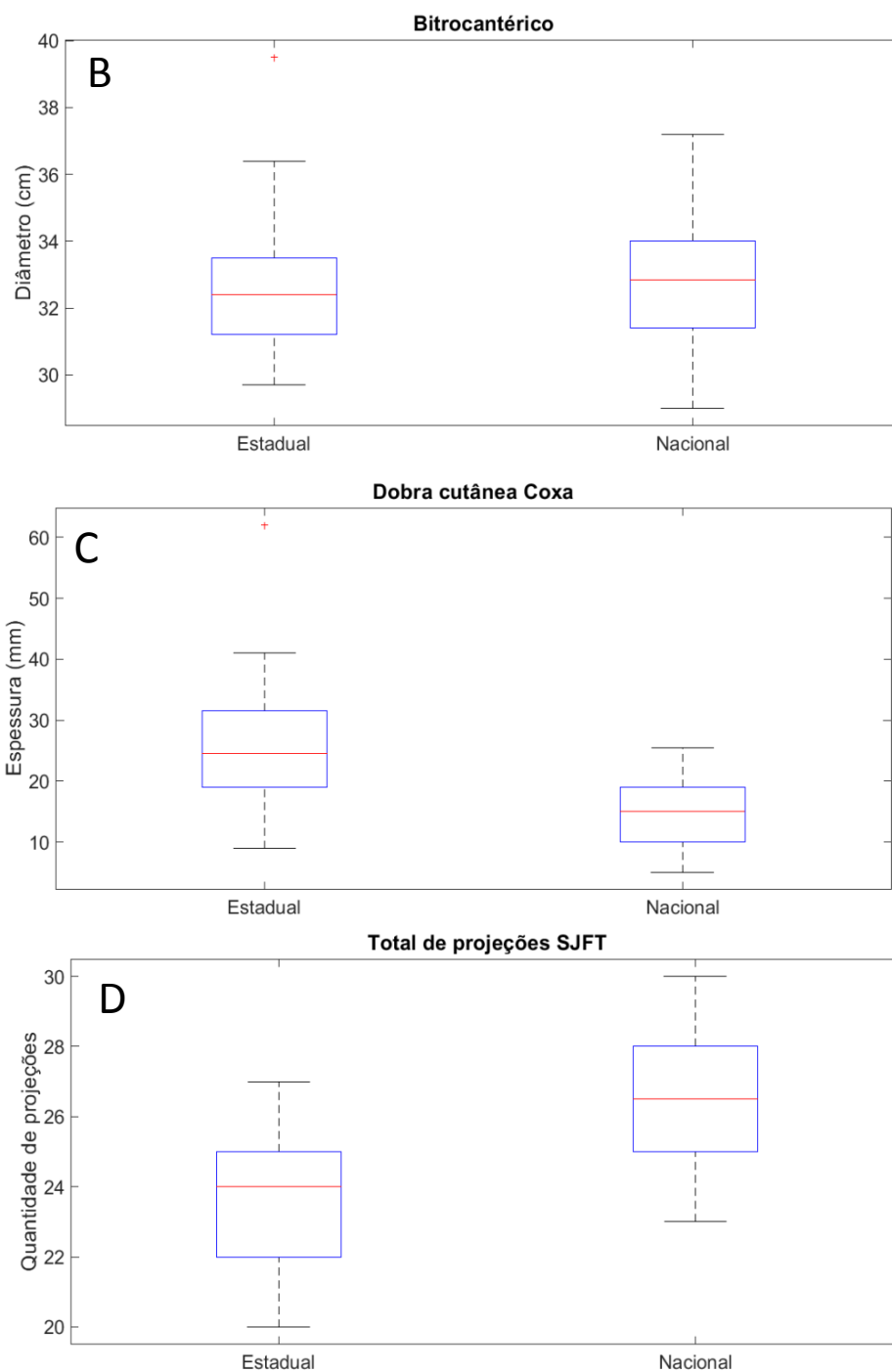


Figura 6 (continuação) - Diagrama de caixa dos atletas de nível nacional (N) e nível estadual (E) em todas as categorias de peso para as variáveis selecionadas (*forward stepwise*): Biépicondiliano do úmero (A), diâmetro Bitrocantérico (B), dobra cutânea de coxa (C), total de quedas realizadas no teste(D), frequência mediana do deslocamento do CP no eixo Y e na condição OAPA (E), velocidade média do CP no eixo X e na condição OAUP (F), velocidade média do CP no eixo X e na condição OFPA (G).

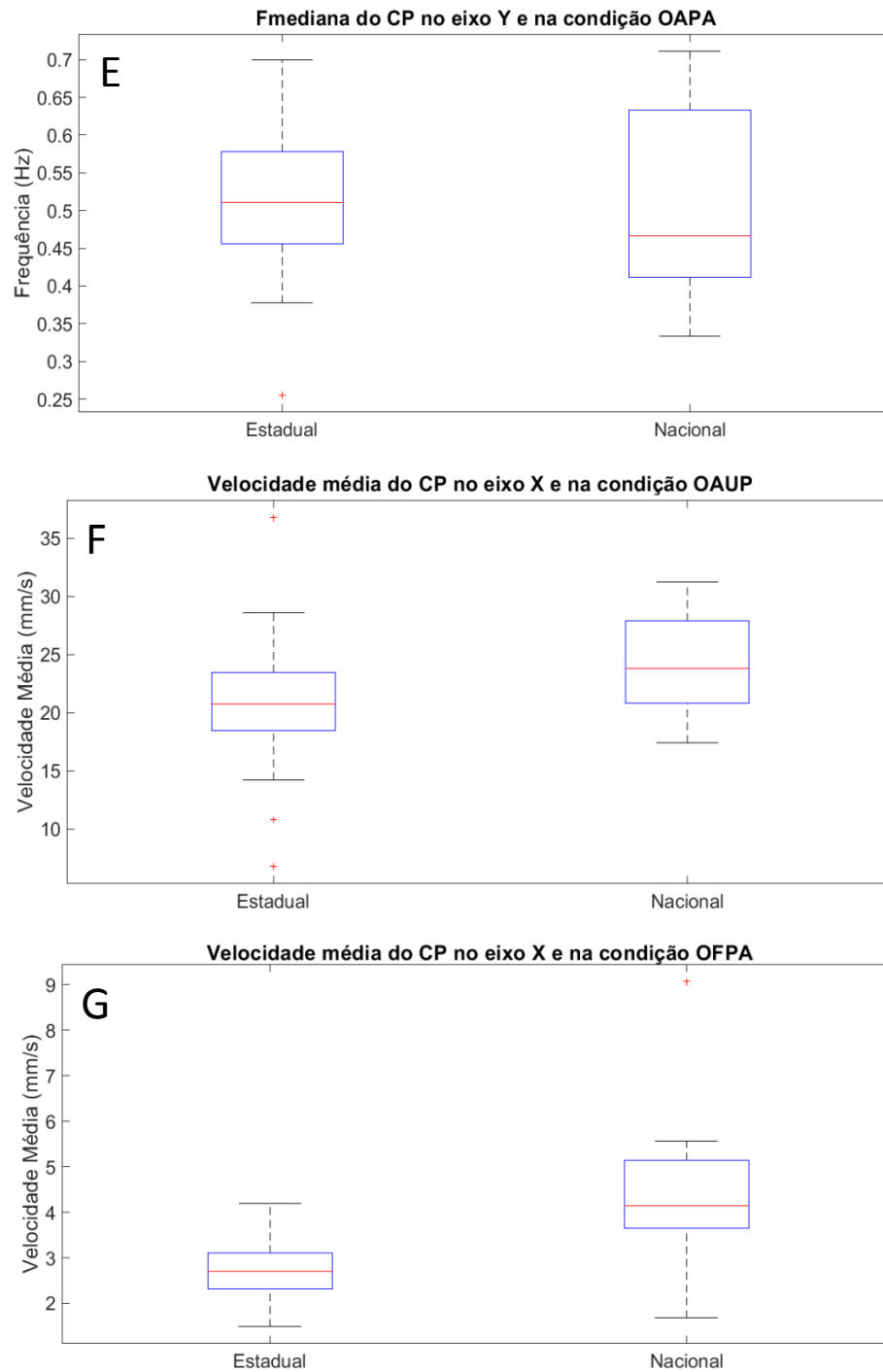


Figura 6 (continuação) - Diagrama de caixa dos atletas de nível nacional (N) e nível estadual (E) em todas as categorias de peso para as variáveis selecionadas (*forward stepwise*): Biepicondiliano do úmero (A), diâmetro Bitrocantérico (B), dobra cutânea de coxa (C), total de quedas realizadas no teste(D), frequência mediana do deslocamento do CP no eixo Y e na condição OAPA (E), velocidade média do CP no eixo X e na condição OAUP (F), velocidade média do CP no eixo X e na condição OFPA (G).

Considerando as sete variáveis selecionadas, os modelos RL e MLP apresentaram 91% e 88% de desempenho da AUC de *leave-one-out* para dados desbalanceados, respectivamente (Tabela 8). Além disso, com dados balanceados, ambos os classificadores apresentaram um

desempenho melhor, apresentando 95% e 89% de AUC para RL e MLP na validação cruzada *leave-one-out*, respectivamente (Tabela 8).

Tabela 8 - Média (desvio padrão) dos índices de validação cruzada da regressão logística (RL) e rede neural *multilayer perceptron* (MLP) estimada pela técnica de validação cruzada *leave-one-out* e *bootstrap* usando sete variáveis selecionadas por *forward stepwise*

	Grupo desbalanceado				Grupo balanceado			
	Leave-one-out		Bootstrap		Leave-one-out		Bootstrap	
	RL	MLP	RL	MLP	RL	MLP	RL	MLP
Acurácia	0,91	0,91(0,04)	0,93(0,06)	0,86(0,16)	0,93(0,01)	0,88(0,01)	0,93(0,09)	0,84(0,18)
Sensibilidade	0,86	0,81(0,08)	0,90(0,14)	0,76(0,31)	0,91(0,01)	0,86(0,01)	0,93(0,11)	0,81(0,23)
Especificidade	0,93	0,97(0,03)	0,95(0,06)	0,92(0,17)	0,94(0,01)	0,89(0,01)	0,93(0,14)	0,89(0,21)
AUC	0,91	0,88(0,05)	0,95(0,06)	0,84(0,19)	0,95(0,01)	0,89(0,01)	0,96(0,07)	0,85(0,19)
Valor p para AUC	3,08 x 10 ⁻⁰⁶		1,51 x 10 ⁻⁹		1,82 x 10 ⁻¹²		1,46 x 10 ⁻¹¹	

* AUC, área sob curva característica de operação do receptor.

O melhor desempenho na análise combinatória foi identificado para três variáveis: diâmetro do úmero epicondilar, total de projeções realizadas no SJFT e velocidade média do CP no eixo X na condição OFPA. Para dados desequilibrados com estas variáveis, a RL e a MLP apresentaram desempenhos de 95% e 84% da AUC de validação cruzada *leave-one-out*, respectivamente (Tabela 9). Com dados balanceados, os dois classificadores apresentaram valores de desempenho um pouco menores, apresentando 91% e 83% de AUC para RL e MLP na validação cruzada *leave-one-out*, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9 - Média (desvio padrão) dos índices de validação cruzada da regressão logística (RL) e rede neural *multilayer perceptron* (MLP) estimada pela técnica de validação cruzada *leave-one-out* e *bootstrap* usando 3 variáveis selecionadas por *forward stepwise*

	Grupo desbalanceado				Grupo balanceado			
	Leave-one-out		Bootstrap		Leave-one-out		Bootstrap	
	RL	MLP	RL	MLP	RL	MLP	RL	MLP
Acurácia	0,91	0,87(0,04)	0,90(0,07)	0,84(0,15)	0,89(0,01)	0,83(0,01)	0,88(0,02)	0,83(0,02)
Sensibilidade	0,86	0,76(0,08)	0,85(0,16)	0,73(0,30)	0,88(0,01)	0,82(0,01)	0,89(0,02)	0,83(0,04)
Specificidade	0,93	0,93(0,04)	0,93(0,09)	0,91(0,17)	0,89(0,01)	0,84(0,01)	0,87(0,02)	0,84(0,04)
AUC*	0,95	0,84(0,04)	0,93(0,08)	0,82(0,16)	0,91(0,01)	0,83(0,01)	0,91(0,01)	0,83(0,01)
Valor p para AUC	1,56 x 10 ⁻³⁰		3,59 x 10 ⁻¹³		1,82 x 10 ⁻¹²		3,64 x 10 ⁻¹²	

* AUC, área sob curva característica de operação do receptor.

Os resultados foram semelhantes ao *leave-one-out* quando a validação cruzada de *bootstrap* foi realizada para dados não balanceados e balanceados, ambos com 7 e 3 variáveis selecionadas (Tabela 7 e 8).

Os valores de AUC da validação cruzada *leave-one-out* e *bootstrap* foram significativamente ($p < 0,05$) mais elevados no RL do que no MLP.

6. DISCUSSÃO

A aplicação de modelos de RL e MLP para classificar judocas de nível nacional e estadual usando dados antropométricos, biomecânicos e SJFT apresentou resultados relevantes na caracterização desses dois grupos. Entre as variáveis utilizadas no estudo, apenas sete foram selecionadas pelo forward stepwise, e uma combinação de três produziu um resultado satisfatório na validação cruzada. No entanto, nenhuma variável de força foi selecionada para o modelo, corroborando os estudos de FRANCHINI *et al.* (2011b) e DRID *et al.* (2015), em que atletas de elite e não elite não apresentaram diferença significativa no tempo de força isométrica máxima e na variável de força máxima de preensão manual, respectivamente. Assim como no estudo de FRANCHINI *et al.* (2005b), não houve diferença significativa na força isométrica entre os atletas de judô elite e não elite, o que parece ser consequência da diferença entre o teste de preensão manual e a qualidade da preensão feita no combate, posto que a pegada do dinamômetro apresenta características diferentes que o judogui.

As três variáveis com a melhor AUC identificada na análise combinatória foram capazes de classificar os dois níveis de atletas. Com o ajuste dos dois modelos de classificação, os métodos de validação cruzada *leave-one-out* e *bootstrap* confirmaram o bom desempenho dos modelos RL e MLP com sete e três variáveis, ambos com dados desbalanceados e balanceados, indicando robustez. Esses resultados representam melhores índices de validação cruzada do que os estudos que utilizaram modelos multivariados para classificar os dados de desempenho em atletas (FONTANA *et al.*, 2015; MIARKA *et al.*, 2017; RABADÁN *et al.*, 2011). RABADÁN *et al.* (2011) utilizaram a RL binária para classificar corredores altamente treinados em sua especialidade escolhida e obtiveram 84% de precisão. Além disso, FONTANA *et al.* (2015) aplicaram a RL para classificar os jogadores de rúgbi de elite e segunda divisão com características antropométricas e obtiveram 74% de acerto. MIARKA *et al.* (2017) mostraram 76% de acurácia para a discriminação entre homens e mulheres atletas de judô usando rede neural probabilística.

Os desempenhos dos dois modelos foram semelhantes, independentemente de sete ou três variáveis selecionadas. Consequentemente, é conveniente usar apenas três variáveis para diminuir o custo computacional e evitar *overfitting* nos modelos MLP. A partir das variáveis antropométricas do presente estudo, a largura do epicôndilo do úmero foi selecionada como uma das três variáveis, após análise combinatória. Esse resultado corrobora FRANCHINI *et*

al. (2005b; 2011a), que mostraram que os atletas de judô mais avançados apresentam maior largura do epicôndilo do úmero, podendo indicar aspectos ósseos adaptativos. Esta afirmação é justificada pelo estudo longitudinal de treinamento de BENNELL et al. (1997), que mostraram que força e treinamento de endurance de alto impacto aumentam a densidade óssea. Uma possível vantagem dessa estrutura óssea adaptativa pode ser uma ampla superfície para inserção muscular, levando a um grande desenvolvimento muscular, como afirmam KRSTULOVIC et al. (2006). O judô é um esporte de alta intensidade caracterizado pelo peso que está associado a uma grande densidade mineral óssea. Atletas de judô mostraram maior densidade mineral óssea em comparação com karatê e pólo aquático (ANDREOLI et al., 2001).

O SJFT tem sido relatado como o teste mais utilizado para avaliar os atletas de judô e para monitorar a evolução da condição física ao longo do período de treinamento (FRANCHINI et al., 2011a; STERKOWICZ et al., 1999; ALMANSBA et al., 2010). No entanto, o índice SJFT ou as frequências cardíacas não foram selecionados para a classificação RL e MLP no presente estudo. De fato, espera-se que a frequência cardíaca máxima não mude como uma adaptação crônica ao exercício, porque o atleta atinge uma intensidade maior do que antes do treinamento que compensa o aumento do tônus vagal (FOSS et al., 1998). A ausência de diferença significativa de frequência cardíaca entre os atletas elite e não elite corrobora os achados de FRANCHINI *et al.* (2005b), sugerindo um estresse cardiovascular semelhante durante este teste para ambos os grupos, o que pode também indicar que a aptidão aeróbia entre os grupos seja similar. Esses resultados indicam que as frequências cardíacas e o índice SJFT devem ser interpretados com cautela, porém o total de projeções foi parcialmente responsável pelo desempenho da RL e MLP, estimado por validação cruzada.

Assim como os resultados desse estudo, DETANICO et al. (2011) também apoiam que o total de projeções é uma importante variável preditiva do desempenho do atleta de judô. Esses autores mostraram que o total de projeções está correlacionado com o salto contramovimento ($r = 0,74$), limiar anaeróbio ($r = 0,60$) e pico de velocidade ($r = 0,70$) a partir do teste incremental. Os resultados atuais comparando atletas de elite com não-elites corroboram outros estudos (FRANCHINI et al., 2005b; STERKOWICZ et al., 1999), em que os atletas de nível superior realizaram mais projeções durante o teste. No entanto, quando os atletas foram submetidos ao mesmo treinamento, o total de projeções não foi capaz de classificar pequenas diferenças de desempenho. Por exemplo, total de projeções não foi

sensível a diferenças entre grupos etários (FRANCHINI et al., 1998; CASALS et al., 2017), ou entre os atletas de judô titulares e reservas (FRANCHINI et al., 2007). Portanto, o presente estudo indicou que os métodos multivariados como RL e MLP possuem precisão, sensibilidade e especificidade para superar essa limitação, pois utilizam um grupo de variáveis.

Os resultados mostraram uma maior média de velocidade para N_{nacional} do que N_{estadual} na direção mediolateral para a condição OFPA. Os atletas de judô precisam ser particularmente capazes de manter sua postura dinâmica e restabelecê-la após um distúrbio externo ou interno (PERROT et al., 2000; PERRIN et al., 2002). Em esportes que dependem do equilíbrio dinâmico, não foi encontrada diferença na capacidade de equilíbrio estático bípede entre atletas de diferentes níveis (NOÉ et al., 2005; CHAPMAN et al., 2008). A interpretação para maior condição de instabilidade postural da velocidade média para judocas pode estar associada aos mecanismos exploratórios atribuídos ao controle ortostático por RILEY et al. (1997) e CARPENTER et al. (2010): a maior velocidade pode ser essencial para rastrear a posição do corpo em relação aos seus limites de estabilidade. O sistema nervoso central tende a estimular a variabilidade do movimento para desencadear maior quantidade de receptores sensoriais e aumentar a ação dos receptores dentro de uma população (CARPENTER et al., 2010), portanto essa situação é mais ativa em atletas mais treinados. Além disso, segundo ZATSIORSKY et al. (2000), o deslocamento do centro de pressão tem dois componentes: o *trembling*, composto de oscilação convencional em torno do ponto de equilíbrio; e o *rambling*, que se refere à migração lenta da referência de um ponto de equilíbrio instantâneo para outro. Enquanto o ponto de equilíbrio instantâneo não muda, o CP tende a permanecer neste ponto e conseqüentemente a área de deslocamento tende a permanecer inalterada. Assim, apesar de VM ser maior, o AE não muda ($p > 0,05$).

Uma limitação do presente estudo é a pequena amostra, devido à necessidade de atletas de alto desempenho. Entretanto, os índices de validação cruzada convergiram para resultados semelhantes. A variância dos parâmetros de desempenho (Tabela 7 e 8) ao usar o método de validação cruzada de bootstrap foi menor que 0,09, caracterizando uma independência aparente entre os conjuntos de dados de treinamento e teste, não encontrando valores de desempenho muito altos para um determinado conjunto e muito baixo para outro.

Os índices de validação cruzada apresentaram valores significativamente maiores para a RL em relação a MLP. Tal fato pode ser justificado pela possibilidade de os dados serem bem-comportados (linearmente separáveis). Adicionalmente, a pequena amostra pode ter

limitado o aprendizado da rede neural. Mesmo com diferença significativa entre os modelos tanto no *bootstrap* quanto no *leave-one-out*, a RL e a MLP apresentaram valores acima de 80% em todos os índices de validação cruzada.

7. CONCLUSÃO

Em conclusão, este estudo mostrou que a regressão logística e a rede neural *multilayer perceptron* podem ser usadas para classificar os atletas de judô de níveis competitivos nacionais e estaduais, utilizando um conjunto reduzido de variáveis antropométricas, biomecânicas e o Special Judo Fitness Test. A regressão logística apresentou uma AUC maior do que a rede neural *multilayer perceptron*, porém ambos os modelos apresentaram valores de AUC altos com a validação cruzada. Além disso, os dois modelos indicaram que os atletas de nível superior são melhores no SJFT, possuem maior média epicondilar e maior velocidade média estabilométrica do centro de pressão na direção mediolateral. Assim, acredita-se que a descrição quantitativa do perfil físico do atleta fornecerá ao treinador mais informações que poderiam melhorar a identificação de talentos, a metodologia de treinamento e o monitoramento das variações das características sazonais.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SUBASI, A., ERÇELEBI, E., 2005, “Classification of EEG signals using neural network and logistic regression”, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, v. 78, pp. 87-99.
- ALI, P.N., HANACHI, P., NEJAD, N.R., 2010, “The relation of body fats, anthropometric factor and physiological functions of iranian female national judo team”, *Modern Applied Science*, v. 4, pp. 25-29.
- ALMANSBA, R., STERKOWICZ, S., STERKOWICZ-PRZYBYCIENÍ, K., MAHDAD, D., BELKACEM, R., 2010, “Anthropometrical and physiological profiles of the Algerian Olympic judoists”, *Archives of Budo*, v. 6, pp. 185-193.
- ANDREATO, L.V., FRANZÓI DE MORAES, S.M., GOMES T.L.M., ESTEVES, J.V., ANDREATO, T.V, FRANCHINI, E., 2011, “Estimated aerobic power, muscular strength and flexibility in elite Brazilian Jiu-Jitsu athletes”. *Science and Sports*. v. 26, pp. 329-337
- BARBADO, D., LOPEZ-VALENCIANO, A., JUAN-RECIO, C., MONTERO-CARRETERO, C., VAN DIEËN, J.H., VERA-GARCIA., F.J., 2016, “Trunk stability, trunk strength and sport performance level in judo”, *Plos One*, v. 11, n. 5, pp. 1-12.
- BLAIS, L., TRILLES, F., LACOUTURE, P., 2007, “Three-dimensional joint dynamics and energy expenditure during the execution of a judo throwing technique (Morote Seoi Nage)”, *Journal of Sports Science and Medicine*, v. 25, pp. 1211-1220.
- BONATO, M., RAMPICHINI, S., FERRARA, M., BENEDINI, S., SBRICCOLI, P., MERATI, G., FRANCHINI, E., LA TORRE, 2015, “Aerobic training program for the enhancements of HR and VO2 off-kinetics in elite judo athletes”, *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, v. 55, pp.1277-1284.
- BONITCH-GÓNGORA, J.G., ALMEIDA, F., FERICHE, B., PADIAL, P., BONITCH-DOMÍNGUEZ, J.G., FERICHE, B., 2013, “Maximal isometric handgrip strength and

endurance differences between elite and non-elite young judo athletes”, *Archives of Budo*, v. 9, pp. 239-248.

BRITO, C.J., ROAS, A.F.C., BRITO, I.S.S., MARINS, J.C.B., CÓRDOVA, C., FRANCHINI, E., 2012, Methods of body mass reduction by combat sport athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. v. 22, pp. 89 -97.

BUŠKO, K., NOWAK, A., 2008, “Changes of maximal muscle torque and maximal power output of lower extremities in male judoists during training”, *Human Movement*, v. 9, n. 2, pp. 111–115

CALLISTER, R., CALLISTER, R.J., STARON, R.S., FLECK, S.J., TESCH, P., DUDLEY, G.A., 1991, “Physiological characteristics of elite judo athletes”. *International Journal of Sports Medicine*, v. 12, pp. 196-203.

CARROL, J.P., FREEDMAN, W., 1993, “Nonstationary properties of postural sway”, *Journal of Biomechanics*, v. 26, pp. 409-416.

CARTER, J.E.L., HEATH, B.H., 1990, “Somatotyping – development and applications”. Cambridge Studies in Biological Anthropology. Cambridge-New York-Port Chester-Melbourne-Sydney: Cambridge University Press.

CASALS, C., HUERTAS, J.R., FRANCHINI, E., STERKOWICZ-PRZYBYCIEN, K., STERKOWICZ, S., GUTIÉRREZ-GARCÍA, C., ESCOBAR-MOLINA, R., 2017, “Special judo fitness test level and anthropometric profile of elite spanish judo athletes”, *Journal of Strength and Conditioning Research*, v. 31, pp. 1229–1235.

CHIANG, C.C., CHIANG, J.Y., SHIANG, T.Y., 2000, “The comparison of balance ability between judo players and non- athletes”, In: 18^o International Symposium on Biomechanics in Sports, pp. 1-4, Hong Kong, China,

- CLAESSENS, A., BEUNEN, G., WELLENS, R., GELDOLF G., 1987, "Somatotype and body structure of world top judoists". *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, v. 27, pp. 105-113
- COLLINS, J.J., DE LUCA, C.J., 1993, "Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories", *Experimental Brain Research*, v. 95, pp. 308-318.
- CORTELL-TORMO, J.M., PEREZ-TURPIN, J.A., LUCAS-CUEVAS, A.G., PEREZ-SORIANO, P., LLANA-BELLOCH, S., MARTINEZ-PATIÑO, M.J., 2013, "Handgrip strength and hand dimensions in high-level inter-university judoists", *Archives of Budo*, v. 9, pp. 21-28.
- DEGOUTTE, F., JOUANEL, P., FILAIRE, E., 2003, "Energy demands during a judo match and recovery", *British Journal of Sports Medicine*, v. 37, pp. 245-249.
- DEMSAR, J., 2006, "Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets", *Journal of Machine Learning Research*, v. 7, pp. 1-30.
- DETANICO, D., DAL PUPO, J., FRANCHINI, E., DOS SANTOS, S.G., 2012, "Relationship of aerobic and neuromuscular indexes with specific actions in judo", *Science and Sports*, v. 27, pp. 16-22.
- DETANICO, D., DAL PUPO, J., GRAUP, S., DOS SANTOS, S.G., 2016, "Vertical jump performance and isokinetic torque discriminate advanced and novice judo athletes", *Kinesiology*, v. 48, pp. 223-228.
- DIAS, J.A., KÜLKAMP, W., WENTZ, M.D., OVANDO, A.C., JUNIOR, N.G.B., 2011, "Efeito da preensão manual sobre o equilíbrio de judocas", *Motriz*, v. 17, pp. 244-251.
- DOYLE, R.J., HSIAO-WECKSLER, E.T., RAGAN, B.G., ROSENGREN, K.S., 2007, "Generalizability of center of pressure measures of quiet standing", *Gait and Posture*, v. 25, pp. 166-171.

- DRID, P., CASALS, C., MEKIĆ, A., RADJO, I., STOJANOVIĆ, M., OSTOJIC, S.M., 2015, “Fitness and anthropometric profiles of international vs. national judo medalists in half-heavyweight category”, *Journal of Strength and Conditioning Research*, v. 29, pp. 2115-2121.
- DUTT-MAZUMDER, A., BUTTON, C., ROBINS, A., BARTLETT, R., 2011, “Neural network modelling and dynamical system theory. Are they relevant to study the governing dynamics of association football players?”, *Sports Medicine*, v. 41, pp. 1003-1017.
- FONTANA, F.Y., COLOSIO, A., DE ROIA, G.F., DA LOZZO, G., POGLIAGHI, S., 2015, “Anthropometrics of Italian senior male rugby union players: from elite to second division.” *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 10, pp. 674-680.
- FRANCHINI, E., TAKITO, M.Y., BERTUZZI, R.C.M., 2005a, “Morphological, physiological and technical variables in high-level college judoists”, *Archives of Budo*, v. 1, pp. 1-7.
- FRANCHINI, E., TAKITO, M.Y., KISS, M.A.P.D.M., STERKOWICZ, S., 2005b “Physical fitness and anthropometrical differences between elite and non-elite judo players”, *Biology of Sport*, v. 22, pp. 315-328.
- FRANCHINI, E., NUNES, A.V., MORAES, J.M., VECCHIO, F.B.D., 2007, “Physical fitness and anthropometrical profile of the Brazilian male judo team”, *Journal of Physiological Anthropology*, v. 26, pp. 59-67.
- FRANCHINI, E., DEL VECCHIO, F.B., STERKOWICZ, S., 2009, “A special judo fitness test classificatory table”, *Archives of Budo*, v. 5, pp. 127-129.
- FRANCHINI, E., VECCHIO, F.B.D., MATSUSHIGUE, K.A., 2011a, “Physiological profiles of elite judo athletes”, *Sports Medicine*, v. 41, pp. 147-166.

- FRANCHINI, E., HUERTAS, J.R., STERKOWICZ, S., CARRATALÁ, V., GUTIÉRREZ-GARCÍA, C., ESCOBAR-MOLINA, R., 2011b, “Anthropometrical profile of elite Spanish Judoka: comparative analysis among ages”, *Archives Of Budo*, v. 7, pp. 239-245.
- FRANCHINI, E., MIARKA, B., MATHEUS, L., DEL VECCHIO, F.B., 2011c, “Endurance in judogi grip strength tests: comparison between elite and non-elite judo players”, *Archives of Budo*, v. 7, pp. 1-4.
- FRANCHINI, E.; STERKOWICZ, S., SZMATLAN-GABRYS, U., GABRYS, T., GARNYS, M., 2011d, “Energy system contributions to the special judo fitness test”, *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 6, pp. 334-343.
- FRANCHINI, E.; STERKOWICZ, P.K., TAKITO, M.Y., 2014, “Anthropometrical profile of judo athletes: comparative analysis between weight categories”, *International Journal of Morphology*, v. 32, n. 1, pp.36-42.
- FILAIRE, E., MASO, F., DEGOUTTE, F., JOUANEL, P., LAC, G., 2001, “Food restriction, performance, psychological state and lipid values in judo athletes”, *International Journal of Sports Medicine*, v. 22, pp. 454-459.
- GARDNER, M.W., DORLING, S.R., 1998, “Artificial neural networks (the multilayer perceptron) a review of applications in the atmospheric sciences”, *Atmospheric Environment*, v. 32, pp. 2627-2636.
- GASTIN, P.B., “Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise”, *Sports Medicine*, v. 31, pp. 725-741.
- GHRAIRI, M., HAMMOUDA, O., MALLIAROPOULOS, N., 2014, “Muscular strength profile in Tunisian male national judo team”, *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, v. 4, n. 2, pp. 149-153.

- GUEDES, D.P., GUEDES J.E.R.P., 2006, *Manual Prático Para Avaliação em Educação Física*, Barueri, SP: Manole.
- HALLIDAY, D. & RESNICK, R., 2016, *Fundamentos de Física 1 – Mecânica*. RJ: Walker, Jearl – LTC.
- HALL, S.J., 2005, *Biomecânica Básica*. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan AS.
- HAMILL J., KNUTZEN KM., 1999, *Bases Biomecânicas do Movimento Humano*. São Paulo: Editora Manole.
- HAYKIN, S., 1998, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- HE, H., GARCIA E.A., 2009, “Learning from imbalanced data”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v. 21, n. 9, pp. 1263-1284.
- HECKERLING, P.S., GERBER, B.S., TAPE, T.G., WIGTON, R.S., 2004, “Use of genetic algorithms for neural networks to predict community-acquired pneumonia”, *Artificial Intelligence in Medicine*, v. 30, pp. 71–84.
- HENDERSON, A.R., 2005, “The bootstrap: a technique for data-driven statistics. Using computer-intensive analyses to explore experimental data”, *Clinica Chimica Acta*, v. 359, pp. 1–26
- HERNÁNDEZ-CARABALLO, E.A., RIVAS, F, PÉREZ, A.G., MARCÓ-PARRA, L.M., 2005, “Evaluation of chemometric techniques and artificial neural networks for cancer screening using Cu, Fe, Se and Zn concentrations in blood serum”, *Analytica Chimica Acta*, v. 533, pp. 161–168.
- HRYSOMALLIS, C., 2011, “Balance ability and athletic performance”, *Sports Medicine*, v. 41, n. 3, pp. 221-232.

- IMAMURA, R.T., HRELJAC, A., ESCAMILLA, R.F., EDWARDS, W. B., 2006, “A three-dimensional analysis of the center of mass for three different judo throwing techniques”, *Journal of Sports Science and Medicine*, v. 5, pp. 122-131.
- IMAMURA, R.T., ITEYA, M., HRELJAC, A., ESCAMILLA, R.F., 2007, “A kinematic comparison of the judo throw harai-goshi during competitive and non-competitive conditions”, *Journal of Sports Science and Medicine*, v. 6, pp. 15-22.
- ISHII, T., AE, M., KOBAYASHI, Y., SUZUKI, Y., 2012, “Front-turn movement in seoi-nage of elite judo athletes”, In: 30th Annual Conference of Biomechanics in Sports, pp. 193-195, Melbourne.
- JACKSON, A.S., POLLOCK, .M.L., 1978, “Generalized equations for predicting body density of men”, *British Journal of Nutrition*, v. 40, pp. 497-504.
- JAKSIC, D., LILIC, L., POPOVIC, S., MATIC, R., MOLNAR, S., 2014, “Application of a more advanced procedure in defining morphological types”, *International Journal of Morphology*, v. 32, pp. 112-118.
- JOLLIFFE, I.T., 2002, *Principal Component Analysis*. 2a ed, New York: Springer.
- JULIO, U.F., PANISSA, V.L.G., ESTEVES, J.V., CURY, R.L., AGOSTINHO, M.F., FRANCHINI, E., 2017, “Energy-System Contributions to Simulated Judo Matches”, *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 12, pp. 676-683.
- KANEHISA, H., KONDO, M., IKEGAWA, S., FUKUNAGA, T., 1998, “Body composition and isokinetic strength of professional Sumo wrestlers”, *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, v. 77, pp. 352-359.
- KATRALLI, J., GOUDAR, S.S., 2012, “Anthropometric profile and special judo fitness levels of indian judo players”, *Asian Journal of Sports Medicine*, v. 3, n. 2, pp. 113-118.

- KAWAMURA, T., ASAMI, T., TAKEUCHI, Y., 1984, “An analysis of somatotypes and postures of judoists: in the case of Japanese and French judoists”, *Bull Association Science Study Judo*, v. 6, pp. 107-16.
- KLEINBAUM, D.G., KUPPER, L.L., MULLER, K.E., NIZAM, A., 1998, *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods*, 3 ed., California: Duxbury press.
- KOHAVI, R., 1995 “A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection”, *In: International Joint Conference on Artificial Intelligence*, v. 14, p. 1137–1145.
- KONS, R.L., DAL PUPO, J., ACHE-DIAS, J., DETANICO, D., 2018, “Female judo athletes’ physical test performances are unrelated to technical–tactical competition skills”, *Perceptual and Motor Skills*, v.125, pp. 802–816.
- LECH, G., CHWAŁA, W., AMBROŻY, T., STERKOWICZ, S., 2015, “Muscle torque and its relation to technique, tactics, sports level and age group in judo contestants”, *Journal of Human Kinetics*, v. 45, pp. 167-175.
- LEWANDOWSKA, J., BUŚKO, K., PASTUSZAK, A., BOGUSZEWSKA, K., 2011, “Somatotype variables related to muscle torque and power in judoists”, *Journal of Human Kinetics*, v. 30, pp. 21-28.
- LITTLE, N.G., 1991, “Physical performance attributes of junior and senior women, juvenile, junior and senior men judokas”, *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, v.31, pp. 510-520.
- MALA, L., MALY, T., ZAHALKA, F., 2016, “Influence of maximal anaerobic performance on body posture stability in elite senior and junior male judo athletes”, *Archives of Budo*, v. 12, pp. 117-124.
- MARTIN, A.D., SPENST, L.F., DRINKWATER, D.T., CLARYS, J.P., 1990, “Anthropometric estimation of muscle mass in men”, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 22, n. 5, pp. 729-733.

- MCARDLE, W.D., KATCH, F.I., KATCH, V.L., 2008, *Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição e Desempenho Humano*, 6 ed. Philadelphia: Guanabara-Koogan.
- MELLO, R.G.T., OLIVEIRA, L.F., NADAL, J., 2007, “Anticipation mechanism in body sway control and effect of muscle fatigue”, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, v. 17, pp. 739-746.
- MERLO, J., CHAIX, B., OHLSSON, H., BECKMAN, A., JOHNELL, K., HJERPE, P., RASTAM, L, LARSEN, K., 2006, “A brief conceptual tutorial of multilevel analysis in social epidemiology: using measures of clustering in multilevel logistic regression to investigate contextual phenomena”, *Journal of Epidemiology and Community Health*, v. 60, pp. 290-297.
- MIARKA, B., PANISSA, V.L., JULIO, U.F., DEL VECCHIO, F.B., CALMET, M., FRANCHINI, E., 2012, “A comparison of time-motion performance between age groups in judo matches”, *Journal of Sports Sciences*, v. 30, pp. 899-905.
- MIARKA, B., BRANCO, B.H.M., VECCHIO, F.B.D., CAMEY, S., FRANCHINI E., 2017 “Development and validation of a time-motion judo combat model based on the markovian processes”, *International Journal of Performance Analysis in Sport*, v. 15, pp. 315-331.
- MINGOTI, S.A., 2007, *Análise de Dados Estatísticos Através de Métodos de Estatística Multivariada, Uma Abordagem Aplicada*. 1 ed. UFMG.
- MORALES, J., UBASART, C., SOLANA-TRAMUNT, M., VILLARRASA-SAPIÑA, I., GONZÁLEZ, L.M., FUKUDA, D., FRANCHINI, E., 2018, “Effects of rapid weight loss on balance and reaction time in elite judo athletes”, *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 13, pp. 1371-1377.

- NADAL, J., 1991, Classificação de arritmias cardíacas baseada em análise de componentes principais e árvores de decisão. Tese de D.Sc., Programa de Engenharia Biomédica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- OLIVEIRA, L.F., SIMPSON, D.M., NADAL, J., 1996, “Calculation of area of stabilometric signals using principal component analysis”, *Physiological Measurements*, v. 17, pp. 305-312.
- PAILLARD, T., MONTOYA, R., DUPUI, P., 2007, “Postural adaptations specific to preferred throwing techniques practiced by competition-level judoists”, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, v. 17, pp. 241-244.
- PEIXINHO, C.C., ROSA, P.T.C.R., OLIVEIRA, L.F., 2016, “Classification of individual flexibility: before and after a long-term stretching program”, *Biomedical Physics and Engineering Express*, v. 2, pp. 1-7.
- PERRIN, D.H., ROBERTSON, R.J., RAY, R.L., 1987, “Bilateral isokinetic peak torque, torque acceleration energy, power, and work relationships in athletes and nonathletes”, *Journal of Orthopedic and Sports Physical Therapy*, v. 9, pp. 184-189.
- PERRIN, P., DEVITERNE, D., HUGEL, F., PERROT, C., 2002, “Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control”, *Gait and Posture*, v. 15, pp. 187-194.
- PERROT, C., MUR, J.M., MAINARD, D., BARRAULT, D., PERRIN, P.P., 2000, “Influence of trauma induced by judo practice on postural control”, *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, v. 10, pp. 292-297.
- PICARD, R.R., COOK, R.D., 1984, “Cross-validation of regression models”. *Journal of the American Statistical Association*, v.79, pp. 575–583.

- RABADÁN, M., DÍAZ, V., CALDERÓN, F.J., BENITO, P.J., PEINADO, A.B., MAFFULLI, N., 2011, “Physiological determinants of speciality of elite middle- and long-distance runners”, *Journal of Sports Sciences*, pp. 1–8.
- RIBEIRO, S.R., TIERRA-CRIOLLO, C.J., MARTINS, R.A.B.L., 2006, “Effects of different strengths in the judo fights, muscular electrical activity and biomechanical parameters in elite athletes”, *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v. 12, pp. 23-28.
- RILEY, M.A., WONG, S., MITRA, S., 1997, “Common effects of touch and vision on postural parameters”, *Experimental Brain Research*, v. 117, pp. 165-170.
- ROCHA, M., 1975, “Peso ósseo do brasileiro de ambos os sexos de 17 a 25 anos” *Arquivos de Anatomia e Antropologia*, pp. 445-451.
- RUIVO, R., PEZARAT-CORREIA, P., CARITA, A.I., 2012, “Elbow and shoulder muscles strength profile in judo athletes”, *Isokinetics and Exercise Science*, v. 20, pp. 41–45.
- SÁNCHEZ, A.G., DOMÍNGUEZ, A.S., TURPIN, J.A.P., TORMO, J.M.C., LLORCA, C.S., 2011, “Importance of hand-grip strength as an indicator for predicting the results of competitions of young judokas”, *Archives of Budo*, v. 7, pp. 167-172.
- SANTOS, L., FERNÁNDEZ-RÍO, J., IGLESIAS-SOLER, E., BLANCO-TRABA, M., JAKOBSEN, M.D., GONZÁLEZ-DÍEZ, V., FRANCHINI, E., GUTIÉRREZ, C., DOPICO-CALVO, X., CARBALLEIRA-FERNÁNDEZ, E., AMONETTE, W., SUMAN, O., 2018, “Postural control and physiological responses to a simulated match in U-20 judo competitors”, *Sports Biomechanics*, v. 21, pp. 1-14.
- SARLE, W.S., 1994, “Neural networks and statistical models”, *Proceedings of the Nineteenth Annual SAS Users Group International Conference*, pp. 01-13.
- SERTIĆ, H., SEGEDI, I., ŽVAN, M., 2007, “Relations of certain anthropometric variables with the performance quality of throwing techniques in judo”, *Kinesiologia Slovenica*, v. 13, pp. 48–60.

- SIDERS, W.A., LUKASKI, H.C., BOLONCHUK, W.W., 1993 “Relationships among swimming performance, body composition and somatotype in competitive collegiate swimmers”, *The Journal Sports Medicine and Physical Fitness*, v. 33, pp. 166-171.
- SBRICCOLI, P., BAZZUCCHI, I., DI MARIO, A., MARZATTINOCCHI, G., FELICI, F., 2007, “Assessment of maximal cardiorespiratory performance and muscle power in the Italian Olympic judoka”, *Journal of Strength and Conditioning Research*, v. 21, pp. 738-744
- SHIAVI, R., 1999, *Introduction to Applied Statistical Signal Analysis*, San Diego: Academic Press.
- SMITH, L.K., WEISS, E.L., LEHMKUHL, L.D., 1997, *Cinesiologia Clínica de Brunnstrom*, São Paulo: Manole.
- ŠTEFANOVSKÝ, M., KRAČEK, S., ČÍŽ, I., CZIBULOVÁ, K., 2017 “Differences in morphological parameters of judo athletes of different age groups and performance level”, *Acta Gymnica*, v. 47, pp. 187–192.
- STERKOWICZ, S., 1995, “Test specjalnej sprawności ruchowej w judo”, *Antropomotoryka*, v. 12, pp. 29–44.
- STERKOWICZ S., ZUCHOWICZ A., KUBICA, R., 1999, “Levels of anaerobic and aerobic capacity indices and results for the special judo fitness test in judo competitors”, *Journal of Human Kinetics*, v. 2, pp. 115-135.
- STERKOWICZ, S., LECH, G., PAŁKA T., TYKA A., 2011, “Body build and body composition vs. physical capacity in young judo contestants compared to untrained subjects”, *Biology of Sport*, v. 28, pp. 271-277.

- STERKOWICZ, S., KRAČEK, S., ČÍŽ, I., CZIBULOVÁ, K., 2017, “Differences in morphological parameters of judo athletes of different age groups and performance level”, *Acta Gymnica*, v. 47 (4), pp. 187–192.
- VICINI, L., 2005, *Análise Multivariada da Teoria à Prática*. Tese de mestrado, Programa de Engenharia Biomédica, CCNE/UFSM, Santa Maria.
- WIDROW, B., LEHR, M.A., 1990, “30 years of adaptive neural networks: perceptron, madaline, and backpropagation”, *Proceedings of the IEEE*, v. 78, pp. 1415-1442.
- WILLARDSON, J.M., 2007, "Core stability training: applications to sports conditioning programs", *Journal of Strength and Conditioning Research*, v. 21, pp. 979-985.
- YOSHITOMI, S.K., TANAKA, C., DUARTE, M., LIMA, F., MORYA, E., HAZIME, F., 2006, “Respostas posturais à perturbação externa inesperada em judocas de diferentes níveis de habilidade”. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v. 12, pp.159-163.

ANEXO I

APROVAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA PELO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DO HOSPITAL CLEMENTINO FRAGA FILHO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

LISTA DE PROJETOS DE PESQUISA:									
Tipo ↕	CAAE ↕	Versão ↕	Pesquisador Responsável ↕	Comitê de Ética ↕	Instituição ↕	Origem ↕	Última Apreciação ↕	Situação ↕	Ação
P	42859115.0.0000.5257	2	Felipe Guimarães Teixeira	5257 - UFRJ - Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro / HUCFF- UFRJ		PO	PO	Aprovado	 

ANEXO II

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA PARTICIPAÇÃO EM PESQUISA CIENTÍFICA

Você está sendo convidado a participar de um estudo intitulado “**CLASSIFICAÇÃO DO DESEMPENHO DO ATLETA DE JUDÔ UTILIZANDO REGRESSÃO LOGÍSTICA E REDE NEURAL**”. Para garantir o melhor rendimento de um atleta em um esporte complexo como o judô, faz-se necessário o pleno desenvolvimento de todas as variáveis de treinamento: características físicas, preparo físico e técnico. Essas variáveis, por meio de instrumentos adequados, permitem análises biomecânica (avaliação mecânica da força e equilíbrio) e antropométrica (conjunto de técnicas utilizadas para medir o corpo humano ou suas partes), oferecendo uma contribuição positiva ao desempenho do judoca. Sendo assim, o objetivo do estudo é classificar os atletas de judô utilizando valências físicas e técnicas por meio de métodos matemáticos. Espera-se que algumas variáveis tenham um maior poder de classificação entre os diferentes níveis de atletas.

Os testes serão realizados em três dias. Primeiramente, os atletas serão submetidos a um questionário. No primeiro dia de experimento, será feita a antropometria a partir da medição de peso corporal, altura e dobras cutâneas (técnica utilizada para medir a taxa de gordura corporal) e será avaliado o comportamento do centro de pressão por estabilometria (equipamento que avalia o equilíbrio humano). No segundo dia dados de força serão mensurados. A força de contração isométrica (força sem movimento) e a resistência muscular localizada (capacidade de manter a força por maior período de tempo) serão registradas em três movimentos diferentes, utilizando três equipamentos de avaliação de força: dinamômetro escapular, dinamômetro de preensão manual e dinamômetro de extensão do tronco. Será gerada a força máxima até a exaustão. No terceiro dia será realizado o Especial Judo Fitness Test (teste de esforço específico para atletas de judô).

Antes dos testes de esforço, deverá ser preenchido um questionário completo que avalia o histórico médico do voluntário, além de questionamento verbal sobre saúde e as respostas fornecidas no questionário, admitindo que o indivíduo está apto para realizar o exercício. Todas as etapas da pesquisa serão acompanhadas por dois professores de Educação Física do Programa de Engenharia Biomédica.

Estão garantidas todas as informações que você queira, antes, durante e depois do estudo. A sua participação é voluntária e você tem a liberdade de recusar participar, ou se aceitar, desistir a qualquer momento, sem prejuízo de qualquer tipo.

As informações relacionadas ao estudo poderão ser inspecionadas pelos envolvidos na pesquisa e pelas autoridades legais. No entanto, se qualquer informação for divulgada em relatório ou publicação, isto será feito sob forma codificada, para que o sigilo seja mantido. O pesquisador responsável assume a responsabilidade de dar assistência integral às complicações e danos decorrentes dos testes, se houver. Todas as despesas necessárias para a realização deste estudo são de responsabilidade do grupo de pesquisa, não cabendo qualquer custo a você. Pela sua participação no estudo, você não receberá qualquer valor em dinheiro. Serão garantidas todas as informações que você queira, antes, durante e depois do estudo. Ao final, você será convidado a participar do seminário de apresentação dos resultados conclusivos.

Rio de Janeiro, ___/___/____. Eu, _____ li o texto acima e compreendi a natureza e o objetivo do estudo do qual fui convidado a participar. A explicação que recebi menciona os riscos e benefícios do estudo. Eu entendi que sou livre para interromper minha participação no estudo a qualquer momento sem justificar minha

decisão, e sei que qualquer problema relacionado será livre de custos para mim. Eu concordo voluntariamente em participar deste estudo,

Assinatura do voluntário_____

Assinatura do pesquisador responsável_____

Para maiores esclarecimentos, o voluntário está convidado a contactar o pesquisador responsável: Felipe Guimarães Teixeira, tel. 99896-6471, e-mail fegutel@hotmail.com ou endereço: Rua Horácio Macedo, 2030 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-450.

ANEXO III

QUESTIONÁRIO

TÍTULO: CLASSIFICAÇÃO DO DESEMPENHO DO ATLETA DE JUDÔ UTILIZANDO REGRESSÃO LOGÍSTICA E REDE NEURAL

Responsável: Felipe Guimarães Teixeira

Nome: _____
Data de nascimento: ____/____/____ Peso: ____ Altura: ____ Sexo: M() .F()
Equipe: _____

1. Atualmente, apresenta algum quadro com suspeita de doenças cardíacas, neurológicas, ortopédicas e/ou reumatológica? **Sim ()** **Não ()**
2. Qual a patologia específica? _____
3. Você já teve alguma lesão ortopédica? Caso positivo, quando foi sua última lesão?
Sim () **Não ()** Se sim, _____
4. Horas de sono por noite: ____ h
5. Há quanto tempo pratica judô? ____ anos
6. Qual a sua graduação no judô? _____
7. Quantas vezes por semana você treina? ____ dias
8. Quantas horas você treina por dia? ____ horas
9. Realiza preparação física? Se sim, quantas vezes por semana?
Sim () Não () ____ dias
10. Quais técnicas de projeção você mais utiliza?
1º _____
2º _____
11. Lado dominante no judô
() direita () esquerda
12. Há quanto tempo você participa de competições? ____ anos
13. Quantas competições você participou esse ano? _____
14. Marque abaixo qual nível competitivo você participou nos últimos anos:
() Estadual
() Nacional
() Internacional
15. Cite abaixo os cinco melhores resultados nos últimos três anos e as respectivas competições
1º _____
2º _____
3º _____
4º _____
5º _____