

**PADRÃO CINEMÁTICO DO CHUTE NO FUTEBOL:
COMPARAÇÃO ENTRE INDIVÍDUOS PRATICANTES E NÃO
PRATICANTES, NAS SITUAÇÕES DE DESCANSO E EXAUSTÃO**

Walter Jesus de Magalhães Junior

Dissertação apresentada ao Instituto de
Biotecnologia do Campus de Rio Claro,
Universidade Estadual Paulista, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Ciências da Motricidade (Área
de Motricidade Humana).

RIO CLARO

São Paulo – Brasil

JUNHO - 2003

**PADRÃO CINEMÁTICO DO CHUTE NO FUTEBOL:
COMPARAÇÃO ENTRE INDIVÍDUOS PRATICANTES E NÃO
PRATICANTES, NAS SITUAÇÕES DE DESCANSO E EXAUSTÃO**

Walter Jesus de Magalhães Junior

Orientador: Prof. Dr. Sergio Augusto Cunha

Dissertação apresentada ao Instituto de
Biotecnologia do Campus de Rio Claro,
Universidade Estadual Paulista, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Ciências da Motricidade (Área
de Motricidade Humana).

RIO CLARO

São Paulo – Brasil

JUNHO - 2003

AGRADECIMENTOS

Com certeza absoluta esta é a parte mais difícil do trabalho inteiro. Graças a Deus, pois é ELE que me traz a feliz lembrança de ter ao meu lado sempre pessoas maravilhosas. Desde pequeno eu percebo e agradeço por isso. Deus sempre só permitiu que pessoas boas permanecessem na minha vida. Surpreendentemente, algumas pessoas se aproximam mas em seguida se distanciam, não que sejam ruins, ou más, mas talvez não estejam com seus espíritos prontos para conviver com o meu. Em compensação, outras pessoas chegam tão de repente que, apesar de parecer não haver mais espaço no coração, este se alarga para fazer caber mais um amor, mais um AMIGO!

Algumas pessoas foram essenciais para a elaboração deste trabalho:

- Professor Dr. Sergio Augusto Cunha, não só pela orientação, mas pela paciência e acima de tudo, amizade.
- Aos amigos do laboratório, pela ajuda nas coletas, pelos Congressos, trabalhos, churrascos e etc.
- Aos parceiros do laboratório de Fisiologia, pela força nas coletas de sangue e na leitura das concentrações de lactato.
- Aos participantes do projeto que com certeza sofreram bastante na realização do teste de limiar anaeróbio.
- Aos funcionários da manutenção e aparelhos audiovisuais da UNESP.
- À FAPESP pelo apoio financeiro para compra dos materiais necessários para a realização das coletas.

Seria incoerência da minha parte citar todos os nomes que eu gostaria de agradecer neste momento, ainda mais porque eu estou “um pouco atrasado” para entregar tudo isso, mas principalmente porque nesses 25 anos de vida centenas de pessoas cruzaram o meu caminho e fizeram de mim a pessoa que sou hoje.

Desde meus amigos de infância no Rio de Janeiro, passando pela galera da 113 Norte em Brasília (onde fui criado), pela moçada do Futsal dos clubes (fraldinha, mamadeira, mirim, infantil, infanto, juvenil), pelos laços fortíssimos de amizade com a turma do Colégio Militar, que permanecem até hoje (CMB, raça!), chegando à Universidade nos tempos de graduação (PONTO G, BASE II, VIRTUAL), nos trabalhos com recreação e agora na pós, onde já imaginava que não encontraria mais ninguém, ainda assim, fiz AMIGOS!

E é por isso que eu sou uma pessoa muito feliz, porque vivo intensamente a vida e graças a DEUS tenho com quem compartilhar esse amor. Porque se pensarmos bem, a vida se resume a isso, trabalhamos, criamos responsabilidades, temos problemas, contas a pagar, prazos, mas o que nos sustenta de pé é o AMOR. O amor que está escondido em um gesto, em uma palavra, em um chute, em um gol, em um sorriso, em uma onda, em uma criança, em um olho cor de mel, em um jogo de botão, em um abraço, em uma música ou em uma boa gargalhada! Sem isso, nada somos, ou pelo menos, nada sou. É nisso que eu me apego, é isso que me faz aprender com meus erros e seguir adiante buscando incessantemente este caminho. É por isso que eu vivo e é por isso que estou aqui hoje.

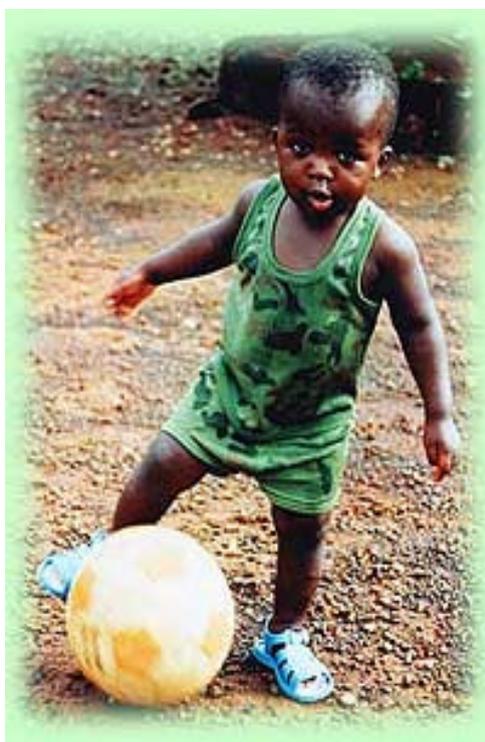
Então, hoje agradeço ao AMOR que meus estas pessoas dedicaram a mim todos os dias da minha vida.

MUITO OBRIGADO!

Dedico este trabalho aos meus pais **Walter Jesus de Magalhães** e **Iracilda Queiroz de Magalhães** que, não bastando ser pai e mãe, foram meus amigos de verdade na hora em que eu mais precisei. Este é o casal mais perfeito que já vi. Vocês são um exemplo do que é vencer! Orgulho-me muito de ter nascido nesta família. E ao meu irmão **Leonardo Queiroz de Magalhães** que, sendo mais novo, me ensinou como poucos, a crescer como homem também!

NÓS SOMOS DANADOS!

Um dia estava sozinho no mar. A água estava transparente o sol a pino e a brisa guiava as gaivotas no céu. Foi quando uma delas, a poucos metros de mim, pescou um peixe com suas garras, colocou-o no bico e levantou vôo novamente. Senti que ter visto aquilo, naquele momento, não era algo simplesmente belo. Foi algo divino. São estes pequenos avisos que nos fazem repensar os valores que damos às coisas, são momentos como este que nos fazem acreditar que Deus está sempre por perto, ou melhor, está no meio de nós, está dentro de nós!



RESUMO

Definir um padrão para um determinado movimento esportivo é de extrema importância para que os profissionais de Educação Física e Esportes possam interferir na prática do ensino ou treinamento deste fenômeno. A Cinemática é uma área da Biomecânica que possui ferramentas suficientes para quantificar qualquer movimento, por mais complexo que seja. Visando a maior compreensão do comportamento do membro inferior na execução do chute no futebol, este estudo definiu e comparou os padrões cinemáticos dos segmentos da coxa, perna e pé em indivíduos praticantes e não praticantes de futebol, descansados e induzidos à exaustão. Foram convidados 10 participantes praticantes regulares de futebol e 10 participantes que não possuem prática regular ou nunca praticaram o esporte. O limiar anaeróbio dos 20 participantes foi calculado através do teste de TEGTBUR e cada participante, em descanso, foi filmado por quatro câmeras de vídeo com frequência de 120 Hz executando 5 séries de chutes ao gol simulando uma cobrança de falta e posteriormente foram induzidos à exaustão para a execução de outras 5 séries de chutes. Os padrões cinemáticos foram determinados pelas curvas das projeções estereográficas e comparados entre os grupos através da análise por *cluster*. Foram detectadas diferenças significativas entre os grupos dos praticantes e o grupo dos não praticantes nas duas situações (descanso e exaustão) para os segmentos da coxa perna e pé, sendo que as maiores diferenças surgiram no segmento do pé. Já na comparação intragrupos para as situações de descanso e exaustão não foram obtidas diferenças significativas. Com base nestes

resultados é possível concluir que há diferença na execução do movimento entre indivíduos praticantes e não praticantes de futebol no que diz respeito ao comportamento dos segmentos da coxa, perna e pé e esta pode ser medida e comparada, além da possibilidade de detectar onde elas mais ocorrem. Além disso, os resultados demonstram que não há diferença no padrão de movimento para os três segmentos analisados quando comparados dentro do grupo na situação de descanso e exaustão contrariando a hipótese de que este tipo de fadiga pode causar deficiência na execução do movimento.

PALAVRAS CHAVES: padrão cinemático, futebol, biomecânica

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	i
DEDICATÓRIA.....	iii
PENSAMENTO.....	iv
RESUMO.....	v
INTRODUÇÃO.....	1
REVISÃO DE LITERATURA.....	5
Aspectos relacionados à análise cinemática de movimento.....	6
Aspectos relacionados à fadiga e desempenho motor.....	12
OBJETIVO.....	15
JUSTIFICATIVA.....	16
METODOLOGIA.....	18
Participantes.....	18
Determinação do limiar anaeróbio individual.....	20
Séries de chutes e indução à exaustão.....	22
Protocolo da coleta de dados.....	26
Determinação das coordenadas tridimensionais.....	28
Filmagem.....	28
Transferência de imagem e medição.....	29
Calibração.....	31
Reconstrução tridimensional.....	33
TRATAMENTO DOS DADOS.....	35
Suavização.....	36
Projeção Estereográfica.....	38
Separação das curvas por <i>cluster</i>	40

RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
CONCLUSÃO.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
ABSTRACT.....	80
APÊNDICE 1 – Termo de concordância.....	82
APÊNDICE 2 - Tempo do tiro, frequência cardíaca e concentrações de lactato do grupo GP no teste de limiar anaeróbio	84
APÊNDICE 3 - Velocidades do limiar e concentrações de lactato do grupo GP durante as filmagens dos chutes.....	86
APÊNDICE 4 - Tempo do tiro, frequência cardíaca e concentrações de lactato do grupo GN no teste de limiar anaeróbio.....	88
APÊNDICE 5 - Velocidades do limiar e concentrações de lactato do grupo GN durante as filmagens dos chutes.....	90
APÊNDICE 6 - Tempos e velocidades para determinação do limiar anaeróbio individual.....	92

I – INTRODUÇÃO

O movimento humano é o principal objeto de estudo dos profissionais da área de Educação Física e, para buscarmos respostas às nossas dúvidas, devemos entendê-lo como um fenômeno interdisciplinar. Por isso, diversos campos de conhecimento têm dedicado seus estudos a este fenômeno.

Um dos aspectos do movimento humano a ser explorado é o padrão cinemático do movimento. Ao estudar este fenômeno, o profissional tem a possibilidade de definir um modelo ou padrão para uma certa habilidade motora, podendo assim intervir com a prática de treinamento e correção de movimento visando à melhoria na execução do mesmo. Amadio et al. (1996) afirmaram que o andar, o correr e o saltar envolvem padrões de movimentos distintos baseados fundamentalmente na formação e evolução de estereótipos dinâmicos, cuja gênese é estabelecida por complexas estruturas neurológicas sincronizadas com as demais funções do aparelho locomotor humano. Para que haja uma definição de um padrão cinemático de movimento, este necessita ser analisado meticulosamente, e a ciência que vem permitindo grandes avanços quanto a este tipo de análise é a Biomecânica. Segundo Amadio et al (1996), "A Biomecânica é

a ciência que trata de análises físico-matemáticas de sistemas biológicos e, como consequência, de movimentos humanos". Esta ciência, que se preocupa com o movimento humano, é composta de algumas áreas específicas, como a Dinamometria, que estuda as forças internas e externas, além da distribuição de pressão sobre o corpo, a Antropometria, que investiga os parâmetros para um modelo corporal, a Eletromiografia que se preocupa com a atividade muscular e a Cinemetria que estuda a posição, orientação, velocidade e aceleração dos segmentos corporais. A área da Biomecânica que estuda o aspecto cinemático do movimento humano é a Cinemetria, que busca, através da descrição dos segmentos corporais, compreender e interferir de modo a corrigir, ou otimizar este fenômeno (AMADIO et al 1996).

Alguns estudos sobre movimentos cotidianos, como o andar, comparam padrões normais da marcha, com padrões diferenciados devido alguma patologia (ALLARD et al., 1995; OLNEY et al., 1998; DIENER et al., 1993). Outros estudos a respeito da locomoção, centralizam seus objetivos na análise do correr utilizando variáveis cinemáticas dos segmentos corporais (FOLEY et al., 1979; WINTER, 1979; CAVANAGH, 1990). Estas pesquisas nos trazem grandes esclarecimentos do comportamento dos segmentos corporais através de parâmetros biomecânicos para movimentos simples. Mas o ser humano é capaz de promover movimentos muito mais complexos, como os executados nas modalidades esportivas, por exemplo. Estes movimentos é que determinam a técnica para determinado esporte. A técnica diz respeito aos fundamentos do jogo e estudar este tipo de movimento pode trazer informações tão importantes para o esporte como as trazidas pelos estudos dos movimentos como o andar e o correr.

O esporte mais popular do mundo é o futebol. E este exige uma grande mobilidade dos atletas que o praticam. Este esporte gera uma infinidade de questões a serem descobertas e alguns estudiosos têm direcionado suas pesquisas a um aspecto de extrema importância dentro desta modalidade: a execução do movimento do chute.

O chute é o fundamento do futebol mais estudado pelos pesquisadores até hoje (LEES & NOLAN, 1998). Algumas pesquisas vêm abordando a questão da análise biomecânica do movimento do chute no futebol (ELLIOT et al. 1980, ASAMI, 1983, PUTMAN, 1983, VALETA 1998), mas nem todas nos esclarecem a respeito do padrão cinemático determinado por esta ação (ANDERSON & SIDAWAY, 1994, Cunha, 1999). Da mesma forma, a maioria dos estudos neste campo fornece uma análise do chute simulando uma cobrança de pênalti (ANDERSON & SIDAWAY, 1994, VALETA, 1998), mas não existe apenas um tipo de chute no futebol. De acordo com a situação em uma partida de futebol, os chutes podem se diferenciar, possuindo assim, cada um deles, padrões cinemáticos diferentes. Além dos tipos de chutes possuírem diferentes padrões, será que estes também podem ser influenciados pelo nível de habilidade de quem o executa? Indivíduos com mais tempo de prática no esporte possuem padrões diferentes daqueles com menor tempo de prática? Esta é uma das questões que este estudo procurará responder.

Para o estudo biomecânico do chute no futebol é importante que não haja restrição somente a uma área de conhecimento. A Fisiologia, por exemplo, traz muitas informações para melhor se compreender o movimento humano, pois esse é o caminho para quem procura fazer relação entre conhecimento teórico e sua

aplicação na prática (CUNHA, 1998). Além da Biomecânica, fazem parte do campo de estudo do movimento humano, outras importantes disciplinas como a anatomia funcional, neurofisiologia, fisiologia geral, psicologia esportiva, sociologia, física (mecânica), matemática e processamento de sinais eletrônicos (AMADIO et al. 1996).

Com a utilização deste conhecimento interdisciplinar, fatores importantes a respeito do chute podem ser solucionados, como um aspecto ainda não explorado na questão da análise do chute: a relação entre o padrão cinemático de movimento e o grau de exaustão do executante. Existem pesquisas destinadas à obtenção de respostas metabólicas relacionadas à performance esportiva (GREEN, 1987, BANGSBO & LINDQUIST 1992, TEGTBUR,1993, GREEN, 1996, MATSUSHIGUE, 1996, REILLY, 1997, PEDERSEN et al., 1999), mas nenhuma delas fez relação com a interferência da exaustão no padrão cinemático do movimento.

Será que existe alguma influência do desgaste a que é submetido um jogador durante uma partida na manutenção de um padrão cinemático de movimento? Esta é outra questão que este estudo pretende responder.

No futebol de alto nível, as equipes se equiparam quanto ao grau de preparação física e, dentro de uma partida, cada vez mais se valoriza a performance motora no segundo período, ou seja, quando os jogadores já estão com um certo nível de exaustão. Quanto maior for a possibilidade de minimizar a influência da exaustão na performance motora do atleta, mais chance este tem de se diferenciar na etapa final de uma partida.

II – REVISÃO DE LITERATURA

A literatura fornece diversos trabalhos que focalizam seus objetivos no estudo do padrão cinemático de movimento do chute e outros que centralizam seus estudos no desempenho motor de atletas em partidas de futebol, mas há uma carência em trabalhos que relacionam estes dois aspectos em conjunto.

Os estudos relacionados à obtenção de padrão cinemático quase que em sua totalidade tratam de uma comparação entre grupos distintos e, dependendo do objetivo da pesquisa, trata estas comparações como referência para a determinação de nível de habilidade. A interferência da exaustão na manutenção ou mudança de padrão de movimento determinado através de uma análise cinemática em jogadores de futebol é um assunto que ainda precisa ser mais explorado cientificamente.

Para uma melhor compreensão, a revisão de literatura será subdividida em dois tópicos de acordo com os assuntos abordados pelas pesquisas encontradas na literatura e com o objetivo deste estudo, e são eles:

1 - Aspectos relacionados à análise cinemática do movimento;

2 - Aspectos relacionados à exaustão e desempenho motor.

2.1 - Aspectos relacionados à análise cinemática de movimento

Algumas pesquisas têm dedicado seus estudos à obtenção de dados quantitativos a respeito do movimento de habilidades esportivas, algumas relacionadas com o futebol e, mais precisamente, com o movimento do chute.

Diversos estudos nos trazem resultados quantitativos a respeito da análise biomecânica do chute, inferindo questões importantes sobre variáveis cinemáticas relacionadas com o movimento, mas deixam de focar a determinação de um padrão cinemático do chute no futebol, como as pesquisas apresentadas a seguir.

ASAMI & NOLTE (1983) utilizaram quatro jogadores profissionais que executaram o movimento do chute em uma bola parada situada a 10 metros do gol procurando empregar o máximo de força. O objetivo foi determinar o impacto do pé na bola, analisando quantitativamente os efeitos da velocidade do pé e da bola, bem como a força vertical de reação do solo no momento do chute. Além de uma plataforma de força situada no chão para a obtenção dos dados da força de reação do solo no momento do chute na perna de apoio, foi utilizado também um sistema de análise de vídeo para a obtenção dos dados cinemáticos dos segmentos da coxa, perna e pé. A média encontrada para a força de reação do solo foi de 1820 N , o tempo de contato do pé com a bola foi de 12.0 msec e a média da velocidade da bola foi de 32.8 m/s. Nenhuma correlação foi encontrada entre a força de reação do solo e a velocidade da bola.

PUTMAN (1983) analisou a interação dos segmentos da coxa e da perna no momento de um chute com a bola no ar. Verificou as variações dos padrões das velocidades angulares e das acelerações angulares das articulações do quadril, joelho e tornozelo em dois chutes, executados por 18 sujeitos e filmados por uma câmera com frequência de 300 Hz. Os deslocamentos das articulações foram determinados a partir da filmagem e os dados foram suavizados através da função “*spline cúbico*”. A cinemática do movimento e os torques nas articulações foram subseqüentemente calculados. Com isso, o autor concluiu que há uma diminuição na velocidade angular da coxa na última metade do movimento e que esta não serve como um bom preditor do aumento da velocidade angular da perna.

MCLEAN & TUMILTY (1993) utilizaram 20 jogadores de elite do futebol australiano da categoria junior, sendo 19 destros e apenas um considerado sinistro. Os autores se preocuparam em verificar a diferença do chute efetuado pela perna dominante e pela perna não dominante em dois tipos de chutes: um direcionado, sem força e o segundo com força máxima. Foram analisados parâmetros da velocidade da bola, distância do pé de apoio à bola, velocidade do pé no contato com a bola, além das variáveis angulares da extensão e flexão da articulação do tornozelo no momento de cada chute. Como resultado, eles encontraram que todas as melhores performances foram efetuadas pelos membros dominantes e concluíram que existe uma assimetria na comparação da cinemática entre os chutes executados pela perna direita e esquerda, além de sugerirem mais estudos sobre este assunto para responder quais os parâmetros mais influenciam na performance destes chutes.

MOGNONI et al (1994) estudaram a correlação entre os torques nas articulações do tornozelo e quadril com a performance do chute, medida através da precisão do mesmo, realizado com força máxima e com a bola parada, em 24 jogadores de futebol da categoria junior. No estudo, os autores concluíram que, apesar de existir uma pequena correlação entre estas duas variáveis, esta não é significativa, sendo que os torques destas articulações não são bons preditores das performances deste tipo de chute.

LEVANON & DAPENA (1998) compararam, através de análises biomecânicas, a performance de dois tipos diferentes de chutes: o chute direcionado, com a parte medial do pé e o chute forte, com o dorso do pé. Foram comparados os ângulos entre as articulações dos membros inferiores, as velocidades da bola após o contato com o pé e do pé antes do contato com a bola nas duas situações. Os resultados foram apresentados através de gráficos, tabelas e desenhos representando todas as comparações entre os dois tipos de chute, e os autores verificaram que existem diferenças no padrão de movimento no que diz respeito aos ângulos das articulações dos membros inferiores, às velocidades do pé (antes do contato com a bola) e da bola (após o contato), encontrando as maiores velocidades da bola nos chutes efetuados com a parte superior do pé.

VALETA & CUNHA (1998) analisaram biomecanicamente o pé de apoio do chute no futebol em crianças. Após uma primeira filmagem (pré-teste) do posicionamento do pé de apoio no momento do chute os autores trabalharam com uma metodologia de treinamento deste chute alcançando bons resultados quanto

à performance do chute, relacionada ao número de acertos no gol, comparando o pré-teste com o pós-teste.

TEIXEIRA (1999) utilizou a cinemática para analisar cinco indivíduos efetuando chutes de força máxima com dois tipos diferentes de bola. Uma denominada "pequena" (11 cm de diâmetro) e outra denominada "grande" (22 cm de diâmetro), ambas com o mesmo peso. Os chutes foram executados em duas situações diferentes: com alvo determinado e sem alvo determinado. Foram avaliadas variáveis do tempo de movimento, que foi menor na bola pequena e maior na situação de alvo definido.

Além da possibilidade de se obter dados quantitativos a respeito de determinado movimento, como as pesquisas citadas anteriormente, a ciência, através de análises biomecânicas, também tem condições de definir um padrão cinemático de movimento. Alguns pesquisadores vêm se preocupando com esta questão, utilizando ou desenvolvendo metodologias a fim de alcançar resultados que determinem este padrão no chute do futebol.

ELLIOT et al (1980) utilizaram 51 garotos, com idades entre 2 e 12 anos de idade, para serem filmados efetuando um chute com a bola no ar. O objetivo foi determinar os padrões cinemáticos do segmento inferior das crianças e comparar estes padrões com os dos chutes de jogadores de alto nível. Os garotos foram previamente marcados nas suas articulações e foi dada a instrução para que eles chutassem naturalmente a bola. Apenas a melhor execução, de duas tentativas, foi escolhida, a critério do observador. Os chutes foram filmados por duas câmeras e as coordenadas dos pontos marcados foram obtidos através de processos biomecânicos. Os dados brutos foram suavizados utilizando o filtro

“*Butterworth*” de segunda ordem. A partir dos 51 chutes estudados, os autores fizeram uma divisão de cinco grupos de garotos, por nível de habilidade, separados através da comparação do padrão cinemático dos chutes apresentados pelos garotos com o padrão dos sujeitos experientes.

ANDERSON & SIDAWAY (1994) definiram os padrões cinemáticos do chute em cobrança de pênalti de dois indivíduos, sendo um experiente e o outro não experiente e verificaram as mudanças nestes padrões após a prática de treinamento. Os resultados foram apresentados através dos gráficos da flexão em função da extensão dos membros inferiores para cada indivíduo. Assim, os autores demonstraram que os padrões eram diferentes mas se aproximaram a medida que o treinamento técnico foi sendo executado.

CUNHA et al (2002) também analisaram e definiram padrões cinemáticos de movimento para um indivíduo experiente, além de utilizarem uma metodologia de transformação de coordenadas cartesianas para coordenadas esféricas para a determinação destes padrões. Os resultados foram apresentados através das curvas da latitude em função da longitude, com os padrões dos membros inferiores, determinando assim um novo método de se analisar o padrão de chute, dependendo apenas de duas coordenadas de cada segmento: latitude e longitude.

CUNHA et al (2001a) estudaram os padrões de dois tipos de chute (parte medial e dorso do pé) através da inclinação do plano a que pertence o ângulo formado pelos segmentos da coxa e perna em cada instante de tempo durante a execução do chute. Dois participantes considerados habilidosos, ou seja, mais de dez anos de prática no esporte, executaram dez chutes cada um, sendo cinco deles com a parte medial do pé, executados sem a preocupação de força e com o

objetivo de acertar o ângulo superior esquerdo e cinco com dorso do pé, executados sem a preocupação de um alvo e com aplicação da máxima força possível. Os participantes foram filmados por duas câmeras com frequência de 60 Hz. Os resultados mostraram uma inclinação maior deste plano no final do movimento, de alguns quadros antes do contato com a bola até o contato, principalmente no chute executado com a parte medial do pé.

Posteriormente, CUNHA et al (2001b) testaram uma projeção estereográfica como metodologia para o estudo e comparação dos padrões cinemáticos do movimento dos dois tipos de chutes estudados anteriormente. O estudo foi realizado em dois jogadores habilidosos onde cada um executou dez chutes, sendo cinco de cada tipo. A metodologia se mostrou efetiva no estudo e demonstrou uma diferença nas curvas que definiram os padrões de movimento, comparando, tanto entre os sujeitos, como entre os dois tipos de chute. Os resultados foram representados pela porcentagem de tempo em que as curvas tiveram padrões diferentes e através das próprias curvas que demonstraram a maior diferença entre os dois chutes presente no segmento pé.

Estas pesquisas fornecem informações importantes sobre a determinação e comparação de padrões cinemáticos de movimento, mas deixam de abordar questões fisiológicas que podem influenciar na manutenção ou mudança deste padrão. A influência da situação de exaustão no desempenho motor em alguma habilidade esportiva específica ainda não é muito estudada, mas na literatura existem pesquisas que relacionam aspectos metabólicos com performance motora.

2.2 - Aspectos relacionados à exaustão e desempenho motor

As distâncias percorridas pelos atletas promovem um grande dispêndio de energia. Algumas pesquisas afirmam que os jogadores percorrem cerca de 8-10 km. Além disso, dependendo da posição em que o atleta joga dentro de um sistema de jogo aplicado, este corre uma maior ou menor distância e por volta de 40% destas distâncias são percorridas com velocidades submáximas (REILLY, 1997).

Sabe-se que a fadiga pode ser determinada como fadiga central, quando está intimamente relacionada com os neurotransmissores, na fenda sináptica, e como fadiga periférica, quando ocorre no órgão efector, ou seja, no músculo. Há uma certa dificuldade em se determinar o motivo exato pelo qual o indivíduo chega à fadiga, mas o fato deve-se principalmente a fatores como: concentração de íons hidrogênio, acidose, despolarização de potássio, diminuição do pH, diminuição da pressão parcial de O₂, aumento da pressão parcial do CO₂.

GREEN (1987) afirmou que, quando há um esforço repetitivo, a solicitação neural, muscular e do sistema metabólico aumenta, de forma que, em determinado momento, ela não pode mais ser sustentada. Green (1996) também afirma que a depleção de carboidratos, principalmente o glicogênio muscular, tem sido aceita como representante primária da causa da fadiga.

REILLY (1997) verificou que as atividades de alta intensidade são as que fazem a diferença durante uma partida e que, no segundo período de um jogo, é quando se nota que os atletas diminuem seu rendimento. Isto acontece devido à exaustão.

PEDERSEN et al. (1999) estudaram e concluíram que a fadiga muscular localizada pode interferir na sensibilidade de determinado movimento, podendo, assim, prejudicar a performance motora de acordo com o nível de exaustão.

Apesar da dificuldade para se determinar o momento exato em que ocorre a exaustão, MATSUSHIGUE (1996) afirma que a redução na potência de trabalho é caracterizada como exaustão e BANGSBO & LINDQUIST (1992) afirmaram que o lactato sanguíneo é um bom preditor da performance de um atleta de futebol.

Um indivíduo chega ao seu limiar anaeróbio no momento em que a produção de lactato no organismo começa a ser maior que sua remoção (TEGTBUR 1993). Esse acúmulo de lactato no organismo é um fator muito importante na ocorrência da exaustão, que pode ser aumentada de acordo com o aumento desta concentração.

NEPTUNE & HERZOG (2000) verificaram uma influência na exaustão através de dados eletromiográficos e de forças de reação em ciclistas que foram submetidos a modificações mecânicas. Neste caso, a coordenação muscular se alterou por causa da mudança de movimento.

Pode-se observar que o movimento humano é influenciado pela exaustão. Então, é de extrema importância verificar se a exaustão apresenta influência significativa a ponto de modificar o padrão cinemático do movimento do chute em jogadores de futebol.

Subsidiado por pesquisas anteriores é que este estudo, utilizando-se desta interdisciplinalidade, vem procurar obter respostas a respeito do padrão cinemático do chute, relacionando os fundamentos biomecânicos e fisiológicos do movimento para determinar e detectar diferenças entre os padrões em indivíduos

que praticam o futebol a mais de dez anos e em indivíduos que pouco tiveram contato com o esporte, em duas situações diferentes, descansados e induzidos à exaustão.

III – OBJETIVO

O objetivo geral desta pesquisa é a análise cinemática do movimento do chute no futebol focalizando o comportamento do membro inferior através das curvas da projeção estereográfica dos segmentos coxa, perna e pé. As comparações serão realizadas entre indivíduos praticantes e não praticantes, descansados e induzidos à exaustão.

Objetivos específicos:

- Determinar e comparar as curvas que determinam os padrões cinemáticos dos segmentos da coxa, perna e pé do membro de chute em indivíduos praticantes e não praticantes do futebol;
- Determinar se há influência da exaustão na determinação e manutenção de um padrão cinemático de movimento.
- Determinar qual o segmento que demonstra maior diferença nas comparações entre os grupos e entre as situações de descanso e exaustão.
- Determinar em qual fase do movimento de chute existe a maior diferença entre os grupos e entre as situações de descanso e exaustão.

IV – JUSTIFICATIVA

A maioria dos estudos focaliza somente o chute simulando a situação da cobrança de pênalti, com aplicação de força máxima e utilizando a parte do dorso do pé, mas os tipos de chute são diferenciados dependendo de fatores como: distância em que a bola se encontra da meta, aplicação da força sobre a bola, parte do pé que mantém o contato com a bola (medial, lateral, dorso), dentre outros. Esta pesquisa visa o estudo do padrão cinemático de um tipo específico de chute pouco estudado, simulando uma cobrança de falta, próxima à grande área de gol e efetuado com a parte medial do pé, sem aplicação de força máxima, buscando assim, a aproximação de uma situação real de jogo.

A idéia de estudar, definir e comparar o padrão cinemático do chute de indivíduos praticantes e não praticantes pode trazer grandes esclarecimentos para a determinação de um padrão de chute no futebol, quanto ao nível de habilidade de jogadores para esse tipo de chute, permitindo assim a intervenção dos profissionais de Educação Física e Esporte no treinamento específico em relação à técnica do chute.

Outro fator interessante a se observar é que a exaustão atua sobre a performance de um jogador de futebol e estudar se esta atuação está relacionada com a realização do movimento de chute pode nos responder questões importantes a respeito da prescrição de treinamento ou métodos de minimizar esta interferência durante uma partida.

V – METODOLOGIA

A metodologia está dividida em partes de acordo com a seqüência de procedimentos utilizados para a realização da pesquisa. Nesta sessão serão tratadas as seguintes categorias:

- Participantes;
- Determinação do limiar anaeróbio individual;
- Séries de chutes e indução à exaustão;
- Determinação das coordenadas tridimensionais;
- Tratamento dos dados.

5.1 – Participantes

Para este estudo foram convidados 20 alunos universitários do sexo masculino, todos destros e com idade média e desvio padrão de 22 ± 2 anos (**tabelas 1 e 2**). Os participantes assinaram um termo de consentimento da realização das exigências físicas à que seriam submetidos e este foi aprovado pelo Comitê de ética da Universidade. De acordo com o objetivo da pesquisa, os

participantes foram divididos em dois grupos: grupo dos praticantes (**GP** - 10 indivíduos) e grupo dos não praticantes (**GN** - 10 indivíduos). Para uma padronização do estudo, foram considerados como praticantes, aqueles indivíduos que tiveram uma experiência com o futebol de pelo menos 10 anos e que ainda o praticam regularmente (2 vezes por semana). Aqueles que não praticam regularmente ou nunca tiveram a experiência com o esporte, foram considerados como não praticantes.

Tabela 1 – Identificação, idade, experiência com o futebol e grau de treinamento dos participantes do grupo (**GP**).

Identificação	Idade	Experiência com futebol	Grau de treinamento
GP1	20	Pratica desde os 5 anos	Treina 3 x semana
GP2	20	Pratica desde os 7 anos	Treina 2 x semana
GP3	25	Pratica desde os 5 anos	Treina 2 x semana
GP4	23	Pratica desde os 7 anos	Treina 2 x semana
GP5	23	Pratica desde os 6 anos	Treina 2 x semana
GP6	21	Pratica desde os 5 anos	Treina 2 x semana
GP7	20	Pratica desde os 5 anos	Treina 3 x semana
GP8	18	Pratica desde os 5 anos	Treina 3 x semana
GP9	21	Pratica desde os 8 anos	Treina 2 x semana
GP10	20	Pratica desde os 8 anos	Treina 2 x semana

Tabela 2 – Identificação, idade, experiência com o futebol e grau de treinamento dos participantes do grupo (GN)

Identificação	Idade	Experiência com futebol	Grau de treinamento
GN1	22	Nunca praticou	Musculação 2 x semana
GN2	24	Nunca praticou	Não treina
GN3	24	Praticou até os 8 anos	Ciclismo 3 x semana
GN4	23	Nunca praticou	Ciclismo 3 x semana
GN5	24	Praticou até os 7 anos	Triatlon 3 x semana
GN6	20	Nunca praticou	Não treina
GN7	22	Nunca praticou	Dança 2 x semana
GN8	23	Nunca praticou	Triatlon 3 x semana
GN9	21	Praticou até os 8 anos	Não treina
GN10	24	Nunca praticou	Dança 2 x semana

5.2 – Determinação do limiar anaeróbio individual

O primeiro passo então, antes da indução à exaustão, foi a realização de um teste para a determinação do limiar anaeróbio de cada participante. Para isto, foi realizada um teste adaptado de TEGTBUR (1993) para a determinação do limiar anaeróbio dos participantes. Este teste foi escolhido pois indica individualmente o limiar anaeróbio dos participantes, melhorando assim a predição

das cargas de exercício a serem suportadas por cada um, além de permitir a execução do movimento respeitando o campo de jogo, a indumentária, bem como o local da coleta dos dados.

Cada participante foi submetido a uma carga elevada de exigência física, neste caso, um tiro de 250 metros. Em seguida foram coletados 25 µl de sangue do lóbulo da orelha de cada participante no primeiro, terceiro, quinto e sétimo minuto após o esforço. As coletas foram realizadas com a utilização de lancetas descartáveis e tubos capilares calibrados para 25 µl. Posteriormente, cada participante iniciou uma corrida lenta, de recuperação, para remoção da concentração excessiva de lactato. Essa corrida de recuperação foi realizada ao redor de quatro cones, dispostos em forma de um quadrado, de lado 25 metros, de modo que, a cada volta, eles percorressem 100 metros. Ao término de cada 800 metros (8 voltas no quadrado) foi coletada uma nova amostra de sangue. A velocidade, a partir daí, foi aumentada em 0,5 Km/h e este procedimento foi realizado com o aumento gradativo de, no máximo, cinco estágios. As velocidades adotadas foram extraídas de uma tabela padrão que segue em anexo. O trajeto entre os cones foi acompanhado por um operador com cronômetro, para que a velocidade de cada participante pudesse ser controlada, de forma a se manter constante. A frequência cardíaca (bpm) foi monitorada através de um aparelho POLAR Beat TM durante todo o teste para uma comparação posterior com os dados das concentrações de lactato.

As coletas de amostragem de sangue foram levadas em seguida a um analisador de lactato YSI 1500 SPRT®. O limiar anaeróbio foi determinado pela curva "lactato x velocidade" dos valores plotados no gráfico através da

determinação da derivada da curva de tendência de polinômio de 2º grau ajustado obtendo-se o valor mínimo como mostra a **Figura 1**.

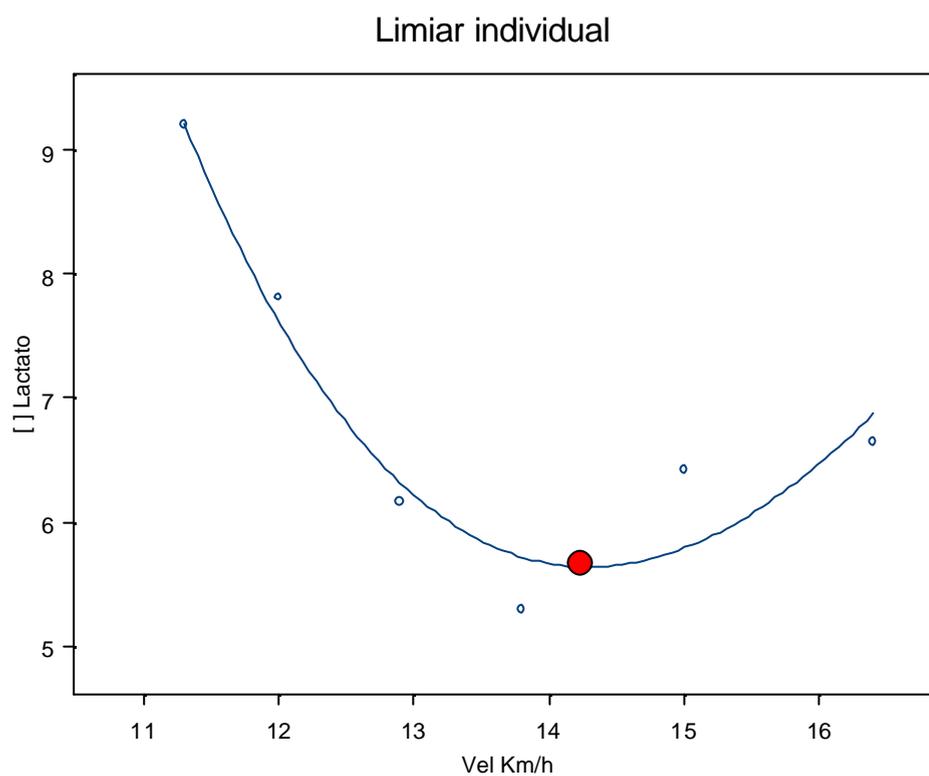


Figura 1 – Determinação do limiar anaeróbico individual através da derivada da curva de tendência com grau de polinômio 2.

5.3 – Séries de chutes e indução à exaustão

Determinado o limiar anaeróbico de cada participante, o passo seguinte foi a execução das séries de chutes e a indução dos participantes à exaustão. Este procedimento foi executado em um prazo de pelo menos uma semana após o teste de determinação do limiar. A tarefa destinada aos participantes foi executar

uma série de 5 chutes ao gol, com a bola situada a uma distância de 20 metros da linha de fundo do campo. Para a melhor definição de um padrão de movimento específico, foi solicitado aos participantes que tentassem executar chutes com o objetivo de acertar o gol fazendo com que a bola transpusesse uma barreira de 1,8 metros de altura e 2 metros de largura, situada a uma distância de 9,15 metros da bola em direção à meta de gol. Para ambos os grupos, o simples fato da tentativa de transpor a barreira foi o suficiente para a determinação de um padrão de movimento específico para este tipo de chute.

Inicialmente os participantes executaram um breve aquecimento, que consistiu em corridas leves, um alongamento específico e alguns chutes ao gol. Em seguida, cada participante vestiu uma calça de lycra preta, um par de meias pretas e um par de chuteiras pretas. A escolha da cor preta para a vestimenta do teste explica-se devido ao fato desta contrastar com os marcadores que foram posteriormente colocados no membro inferior. Isto facilita o procedimento de medição destes marcadores que será explicado posteriormente. Após os participantes estarem vestidos e aquecidos, os marcadores, feitos de isopor, foram fixados por uma fita dupla face da marca EUROGEL Sicad ® e por um velcro situado na calça nas articulações do quadril (trocanter maior), joelho (epicôndilo lateral do fêmur), tornozelo (maléolo lateral), do metatarso lateral (quinta articulação metatarsofalangiana) e no calcâneo (tuberosidade do calcâneo) dos membros inferiores determinando assim os segmentos coxa, perna e pé, como mostra a **Figura 2**.



Figura 2 – Marcadores e definição dos segmentos coxa, perna e pé.

Foi realizada uma primeira coleta de amostra de sangue em repouso e a partir de daí iniciou-se a tarefa: as séries de chutes ao gol. Estas foram filmadas por quatro câmeras digitais situadas a 4 metros do local de chute para obtenção da seqüência de imagens de cada chute. Para este estudo, apenas os dados das câmeras 1 e 2 foram utilizados. Após a primeira série de chutes, os indivíduos iniciaram uma corrida em torno de quatro cones, dispostos de forma idêntica ao teste de determinação do limiar individual, começando já com a velocidade determinada por seu limiar anaeróbio.

Ao término da corrida de 800 metros em cada velocidade foram realizadas coletas de sangue do lóbulo da orelha dos participantes e em seguida estes seguiram para próxima série de 5 chutes. Como pode ser observado na **Figura 3**, os cones foram dispostos de uma maneira que o participante pôde executar a série de chutes logo ao término da coleta de lactato. Este tempo variou de 30 a 60 segundos.

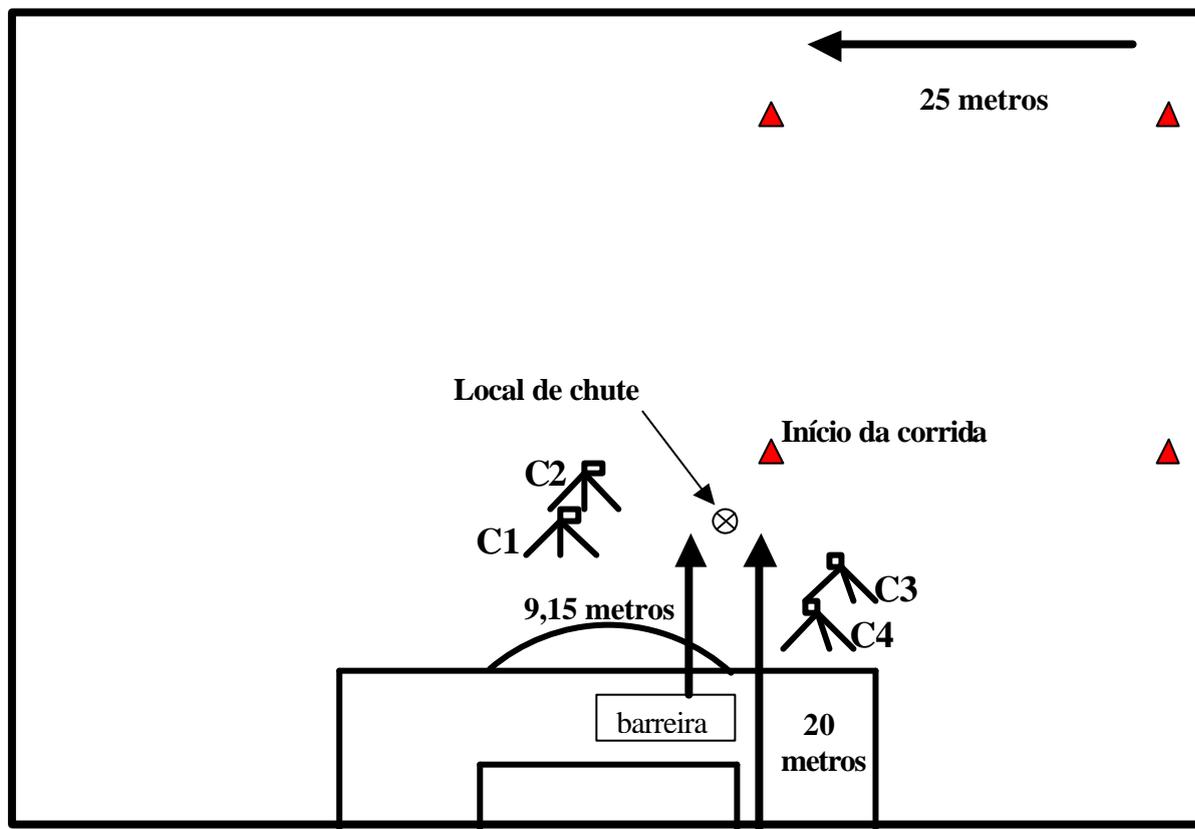


Figura 3 - Desenho esquemático do local da coleta de dados.

Este procedimento foi realizado até o indivíduo não se sentir mais apto a efetuar a ação proposta. Esta determinação, em um primeiro momento, aconteceu através da observação e da própria avaliação subjetiva do participante. Mas os dados das concentrações de lactato em cada momento é que nos vai fornecer subsídios para afirmar que realmente os participantes entraram em exaustão a partir do limiar anaeróbio individual.

5.3.1- Protocolo de Coleta de Dados

O trabalho experimental desta pesquisa exigiu, o seguinte planejamento para sua execução: os participantes foram submetidos ao teste de limiar em um dia e as filmagens dos chutes foram realizadas uma semana depois. Portanto, os participantes sempre estavam separados dois a dois, de modo que, enquanto dois eram submetidos ao teste de limiar anaeróbio, outros dois que já tinham feito o teste, executavam as séries de chutes e a indução à exaustão. Segue abaixo a seqüência de procedimentos utilizada para a coleta de dados.

5.3.1.1– Teste para determinação do limiar anaeróbio

- Coleta de lactato em descanso;
- Alongamento e aquecimento (corrida lenta);
- 1 corrida (esforço máximo) de 250 metros;
- Coleta de lactato no 1º, 3º, 5º, 7º minutos após a corrida;
- Corrida em torno de 4 cones dispostos em forma de quadrado (25 m);
- Incremento de 0.5Km/h a cada estágio (800 metros);
- Coleta de lactato a cada término de corrida;
- Fim de teste através da avaliação subjetiva do participante (exaustão);

5.3.1.2 – Filmagem e indução a exaustão (após uma semana)

- Posicionamento das câmeras focalizando o local de chute;
- Bola situada a 20 metros do gol;

- Barreira de 1 metro e 80 centímetros de altura situada a 9 metros e 15 centímetros da bola;
- Aquecimento (corridas leves e chutes ao gol);
- Vestimenta dos participantes (calça de lycra, meia e chuteira)
- Colocação dos 5 marcadores de isopor de diâmetro 2 cm. Foram colocados quatro marcadores nas articulações do quadril, joelho, tornozelo e metatarsófalangiana e mais um no osso do calcâneo no membro inferior de chute dos participantes;
- Coleta de lactato em repouso;
- Início das séries de 5 chutes ao gol;
- Início da corrida em torno dos cones na velocidade do limiar determinado pelo teste;
- Coletas de lactato a cada término de corrida (800 metros);
- Série de 5 chutes a cada término de coleta de lactato;
- Incremento de 0.5Km/h em cada estágio;
- Corridas e chutes sucessivos até o participante não se sentir mais apto a executar a tarefa.

5.4 – Determinação das coordenadas tridimensionais

5.4.1 – Filmagem

A determinação das coordenadas tridimensionais foi executada através de uma seqüência de processos biomecânicos para a análise de movimentos humanos.

O primeiro passo para essa determinação consistiu em uma filmagem do fenômeno investigado. Para isso foram utilizadas quatro câmeras digitais da marca JVC ®, modelo GR – DVL 9800u. Algumas medidas em relação às funções das câmeras foram tomadas para a otimização do registro das ações dos participantes, como a utilização de uma freqüência de 120 Hz, "shutter" de 1/250, fixação do foco manual e utilização do "white balance", regulagem de branco padrão das câmeras para obtenção de seqüências de imagens em ambientes externos com grande luminosidade.

As quatro câmeras foram posicionadas de maneira que pelo menos duas delas focalizassem os segmentos inferiores do corpo de cada participante no momento do chute. para que, posteriormente, a reconstrução tridimensional dos pontos medidos pudesse ser realizada.

Tripés da marca Vanguard ® sustentaram as câmeras que, antes da execução dos chutes, focalizaram primeiramente o cubo de calibração e a partir disso não mais saíram de posição para a filmagem do movimento do chute.

5.4.2 – Transferência de imagem e medição

Outro passo importante no processo da determinação das coordenadas tridimensionais foi a transferência das seqüências de imagem da câmera para o computador. Para isso foi utilizada uma placa Studio DV (Pinnacle) ® específica para este tipo de conversão.

Após cada imagem ter sido capturada, foi realizado o processo de desentrelaçamento dos "*fields*", para a obtenção da seqüência de imagem de cada chute com a freqüência desejada para a posterior análise (120 Hz). Para isso foi utilizado o compactador "*Indeo video 5.11*" ® e as seqüências do movimento, após este procedimento, foram armazenadas em arquivos AVI (Audio Video Interlace).

Para a padronização do estudo foi definido um ciclo do movimento analisado. Essa definição ajuda a determinar a parte do movimento do chute que interessa para o estudo, ou seja, quando ele inicia e termina. Desta forma, os chutes analisados foram considerados como tendo seu início no momento em que o participante retira o pé de chute do solo até o momento do contato do mesmo com a bola.

Para a identificação deste ciclo e para uma análise mais objetiva do chute, o movimento foi dividido em duas fases. A primeira corresponde ao momento em que o indivíduo retira o pé de chute do solo, até o momento em que ele apóia o calcanhar do membro antagônico no solo (**fase de apoio**). A segunda fase (**fase de contato**) está compreendida entre o momento em que o participante apóia o membro antagônico no solo, até o contato do pé de chute com a bola (**Figura 4 e 5**).



Figura 4 – Determinação da 1ª fase (F1) do ciclo de movimento. **Fase de apoio.**



Figura 5 – Determinação da 2ª fase (F2) do ciclo de movimento. **Fase de contato.**

Após a realização da transferência de cada seqüência de imagem dos chutes, foi realizado o desentrelaçamento para obtenção da freqüência de captura de 120 Hz (BARROS, 1999).

A medição dos pontos determinados pelos marcadores situados nas articulações dos membros inferiores dos participantes foi a fase seguinte, e esta foi executada com o auxílio do software “DVIDEOW” (BARROS, 1999). A medição foi realizada de forma semi-automática. Este procedimento é uma opção do software que habilita uma medição mais rápida. Portanto, foram marcados na tela do computador, com o “mouse”, os pontos articulares previamente determinados

pelos marcadores de isopor apenas no primeiro quadro, e a partir desta marcação inicial, o “*software*”, utilizando a morfologia matemática contida no sistema, executou o “*tracking automático*”, ou seja, o acompanhamento de todas as marcas durante os quadros seguintes. Em algumas ocasiões, ocorreu oclusão de marcadores, pelo fato da movimentação do braço ou rotação da perna e tronco de alguns participantes na execução do chute. Quando isto ocorria, era necessário que o operador estimasse a posição dos marcadores oclusos nos quadros referentes a estes momentos até que os marcadores estivessem novamente visíveis para uma nova aplicação do “*tracking automático*”. Por este fato a medição é considerada semi-automática, pois permite uma interferência manual de um operador quando necessário.

5.4.3 - Calibração

A fim de descrevermos o movimento de uma partícula é necessário que conheçamos sua posição no espaço em relação a um dado referencial, em função do tempo. A calibração nada mais é do que o primeiro passo para a conversão dos pontos medidos na tela do computador (pixel), para as coordenadas cartesianas (x , y , z). Para isto contamos com o auxílio de um cubo, que possui dimensões de 1.00 m altura, 0.75 m de comprimento e 0.75 m de profundidade.

Este cubo possui oito pontos, sendo que para nossa padronização o número 1 foi determinado como origem. Todos os outros pontos tiveram suas coordenadas referenciadas a esta origem, previamente medidas no espaço real através de uma trena. O cubo foi colocado no local de chute, antes da execução

dos mesmos, com o ponto número 3 situado exatamente no local do posicionamento da bola, para que cada câmera pudesse focalizá-lo e para que fosse aproveitada a dimensão do cubo para a corrida de aproximação dos participantes (**Figura 6**).

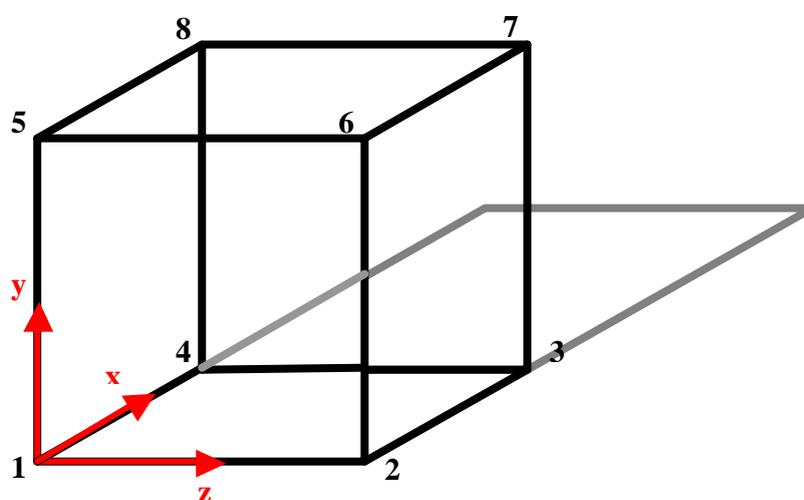


Figura 6 – Representação gráfica do posicionamento do cubo utilizado para a calibração e sistema de referência.

O sistema de referência foi então definido a partir da origem da seguinte forma: o eixo **y** foi determinado como sendo na direção vertical e orientado para cima. O eixo **x** é ortogonal ao eixo **y** e direcionado horizontalmente. Sua orientação é determinada pelo segmento de reta imaginário que une a origem à linha de fundo, formando com esta, também um ângulo de 90°. O eixo **z** foi definido pelo produto vetorial de **x** por **y**.

As imagens do cubo focalizadas por cada câmera sofreram o mesmo processo de transferência e medição dos pontos que as imagens do movimento de chute, para a realização da reconstrução tridimensional.

5.4.4 – Reconstrução Tridimensional

O chute é um fenômeno tridimensional, mas para quantificá-lo, esta pesquisa se apóia em uma metodologia que utiliza imagens bidimensionais, por isso a necessidade da execução da reconstrução tridimensional. O processo utilizado para a reconstrução tridimensional é o (DLT) "*Direct Linear Transformation*" que é um método de equações aplicado para quantificar os parâmetros da reconstrução (BARROS, 1997).

A reconstrução tridimensional trata da obtenção das coordenadas espaciais a partir de registros de suas imagens e foi proposta inicialmente por ABDEL-AZIZ E KARARA (1971). Sendo assim, a partir da seqüência de imagens de um chute, geradas por câmeras diferentes, o software DVIDEOW (BARROS, 1999) realizou a reconstrução tridimensional de cada ponto medido. Esse processo fez com que as coordenadas dos pontos das imagens bidimensionais, digitalizadas, medidas e calibradas no computador, fossem reconstruídas no espaço.

Para que haja uma relação temporal entre as imagens das duas câmeras foi necessária a realização de uma sincronização, e esta foi realizada detectando momentos importantes e bem definidos dentro do ciclo de movimento estudado. Para a sincronização foram utilizados três instantes: a) o momento em que o participante retira a perna de chute do solo; b) o momento em que ele toca o pé de apoio no solo; c) o contato com a bola. Através destes três momentos durante o

ciclo é possível fornecer ao software informações precisas para a realização da sincronização das câmeras.

Após o término deste processo, será fornecido pelo computador um arquivo contendo as coordenadas **X**, **Y** e **Z** denominado: arquivo 3D, dispostas em uma matriz, de todos os pontos medidos, de cada chute, em função do tempo. É a partir deste arquivo que serão analisados todos os parâmetros para a obtenção das respostas relacionadas à execução do movimento do chute no que diz respeito ao padrão cinemático do movimento.

VI – TRATAMENTO DOS DADOS

O arquivo 3D é uma matriz de dados de dimensão 36 x 16, cujas linhas representam os quadros, ou seja, o tempo que durou o movimento e as colunas são as coordenadas tridimensionais de cada marcador. Para se chegar às curvas que definem o padrão de movimento, os arquivos 3D de cada chute, precisam passar por alguns procedimentos para que as curvas possam ser interpretadas como representações fiéis do que está acontecendo com cada segmento no decorrer do movimento. E são os seguintes:

- 1 – Suavização;
- 2 – Projeção estereográfica;
- 3 – Separação por *cluster*;

6.1 – Suavização

Os dados obtidos com este estudo, como em qualquer pesquisa quantitativa, estão sujeitos a erros. Portanto faz-se necessário uma separação do que é realmente sinal coletado do que é ruído.

Além disso, neste caso a análise cinemática gerou dados discretos que, necessitam de um ajuste para serem representados de forma contínua. Uma das opções para isso seria a interpolação destes pontos plotados no gráfico. Mas a interpolação não se torna uma boa forma de representação para este tipo de curva por não levar em conta a existência de erros, bem como a característica suave do movimento humano. Por isso, foi realizado um ajuste não paramétrico da função contínua à série temporal (CUNHA et al., 1998), utilizando a função “loess” com o auxílio do programa estatístico S-PLUS®.

Esta função foi utilizada pelo fato de ser um ajuste não paramétrico, ou seja, ela leva em conta há não existência de um modelo para o movimento do chute. O conjunto de dados é quem vai determinar qual é a forma da curva. Além disso, a função é robusta, não deixando que valores discrepantes (*outliers*) influenciem na curva. E também é local e ponderada, o que significa que a função trabalha por “janelas” e fornece um peso maior aos “dados vizinhos”, ou seja, aos dados próximos uns dos outros. A suavização é executada em cada coordenada (**X, Y, Z**) de todos os segmentos.

A função “loess” permite ainda a interferência e ratificação do parâmetro de suavização (**f**) para a obtenção de uma suavização ideal para cada coordenada . Esta determinação é realizada através da análise do resíduo, que é a diferença

entre o ponto medido e a função suavizada, além da verificação da primeira e segunda derivadas, que são a velocidade e aceleração respectivamente. A **Figura 7** é ilustrativa e demonstra, no primeiro gráfico, os pontos medidos a cada quadro e a curva suavizada através da função. No gráfico seguinte pode-se observar o resíduo, que permanece em torno do zero confirmando uma boa suavização e posteriormente, os gráficos da primeira e segunda derivadas (velocidade e aceleração), que através de seu comportamento também dão maior fidedignidade ao parâmetro de suavização utilizado.

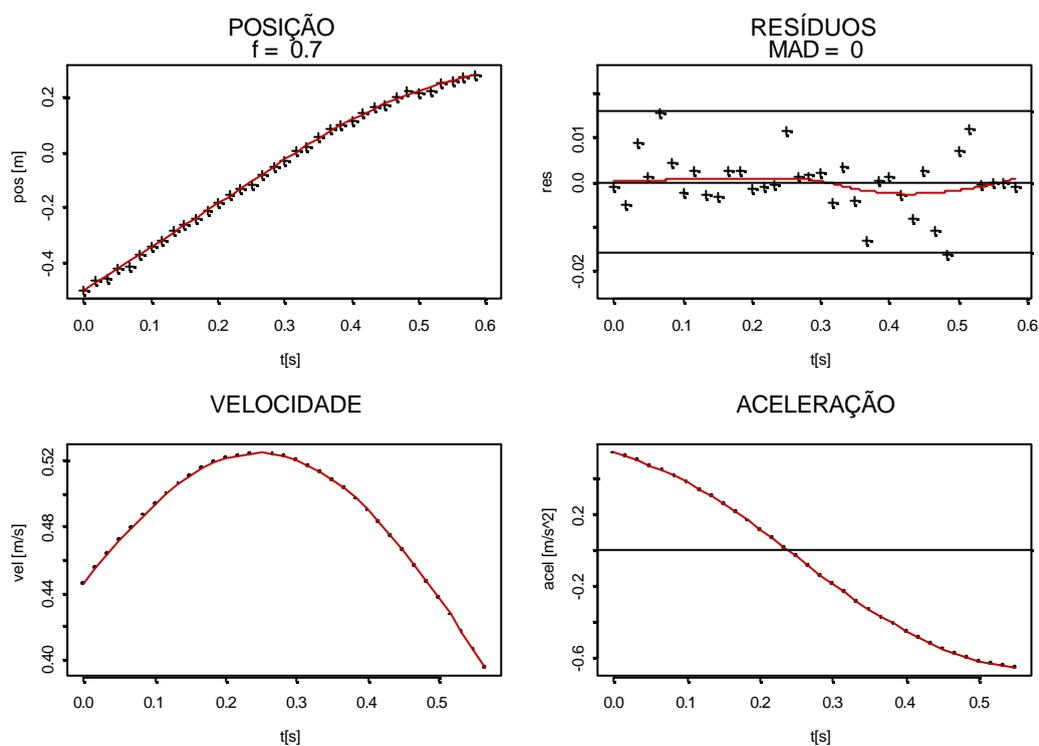


Figura 7 – Exemplo da suavização dos valores brutos da coordenada “x” do joelho através da função “loess” com $f=0.7$ e gráficos dos resíduos e da primeira e segunda derivadas.

6.2 – Projeção estereográfica

O ser humano realiza movimentos no espaço, portanto as representações das curvas deveriam ser realizadas no espaço tridimensional. Contudo, para tais representações, existiria uma grande dificuldade na interpretação dos resultados. Diante desta circunstância, para uma melhor visualização dos gráficos no papel, as curvas de cada segmento serão apresentadas de forma bidimensional (plano), com o tempo parametrizado. Para isso, foi realizada a projeção estereográfica (COXETER,1969) das curvas que definem o padrão cinemático do movimento para cada segmento (**Figura 8**). Este tipo de metodologia permite uma interpretação do movimento efetuado para cada segmento corporal de forma mais ampla.

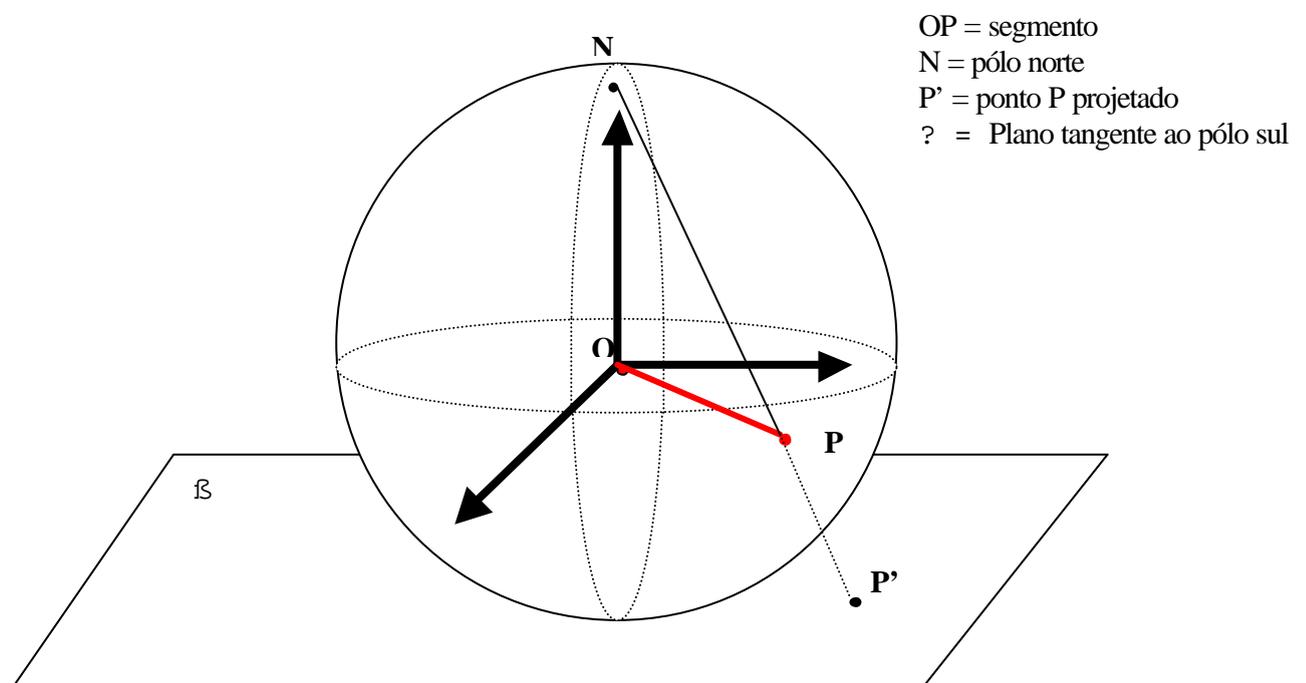


Figura 8 – Desenho esquemático da realização da Projeção Estereográfica.

De posse das coordenadas tridimensionais em função do tempo $\mathbf{X}(t)$, $\mathbf{Y}(t)$ e $\mathbf{Z}(t)$ de cada uma dos cinco marcadores (coxo-femoral = CF, joelho = JO, tornozelo = TO, calcâneo = CA, metatarso = MT), procedeu-se à formulação matemática para determinação dos vetores normalizados da coxa (**COX**), da perna (**PER**) e do pé (**PEE**). Estes procedimentos podem ser descritos conforme segue:

vetor normalizado da coxa \hat{D} $\mathbf{COX} = (\mathbf{JO} - \mathbf{CF}) / (\|\mathbf{JO} - \mathbf{CF}\|_2)$

vetor normalizado da perna \hat{D} $\mathbf{PER} = (\mathbf{TO} - \mathbf{JO}) / (\|\mathbf{TO} - \mathbf{JO}\|_2)$

vetor normalizado do pé \hat{D} $\mathbf{PEE} = (\mathbf{CA} - \mathbf{TO}) / (\|\mathbf{CA} - \mathbf{TO}\|_2)$

com $\|\cdot\|_2$ definido como a norma euclidiana do vetor.

Em seguida, cada vetor (segmento corporal) foi centrado em uma esfera de raio um. A movimentação do segmento normalizado percorre, durante a execução do movimento do chute, a superfície da esfera. A projeção estereográfica consiste em traçar um segmento de reta do ponto no pólo norte desta esfera, até a extremidade do vetor normalizado em cada instante de tempo. A interseção do prolongamento deste segmento de reta com o plano que tangencia a esfera no pólo sul e é paralelo ao plano equatorial, definirá a curva do padrão cinemático projetado em um ambiente bidimensional. Esse procedimento é biunívoco, ou seja, para um ponto na esfera, só existe um ponto projetado no plano, além de permitir o retorno à curva no espaço tridimensional, não ocasionando a perda das informações do fenômeno assim como ele é.

6.3 - Separação das curvas

Os padrões cinemáticos do movimento são definidos por curvas no plano após a realização da projeção estereográfica. As comparações entre os participantes foram realizadas da seguinte maneira:

Tabela 3 – Comparações realizadas entre os grupos: praticantes descansados (**GPD**), praticantes exaustos (**GPE**), não praticantes descansados (**GND**), não praticantes exaustos (**GNE**).

	GPD	GND	GPE	GNE
GPD		XXXX	XXXX	
GND	XXXX			XXXX
GPE	XXXX			XXXX
GNE		XXXX	XXXX	

* As comparações serão realizadas entre os grupos que estão sinalizados com (**XXXX**).

Cada participante efetuou séries de 5 chutes a cada sobrecarga, realizando uma média 20 chutes. De acordo com a resistência individual à exaustão, uns executaram mais chutes que outros. Para padronização do estudo, foram consideradas, para que pudessem ser comparadas, a primeira série de chutes, executada ainda em repouso, e a última, executada após a última coleta de lactado no momento em que o participante se julgou inapto para continuar a

tarefa. Portanto, para este estudo, apenas as séries iniciais e finais dos chutes de cada participante foram utilizadas para análise.

Foram analisadas, então, 10 chutes que resultam em 10 curvas da projeção estereográfica para cada segmento, 5 curvas na situação de descanso e 5 curvas na situação de exaustão.

A separação das curvas, neste caso, é a análise estatística para detectar se há diferenças no padrão cinemático do movimento entre os grupos e onde elas mais ocorrem. Este tratamento não pode descaracterizar o conjunto de dados como uma curva em função do tempo (série temporal).

O método utilizado para este tipo de análise foi a separação por *cluster*. Segundo KAUFMAN e ROUSSEEUW (1990), esta é uma metodologia para encontrar grupos em dados, ou seja, é um modo de detectar diferenças nas curvas e separá-las em grupos diferentes. Foi aplicado o *cluster* PAM (*Partition Around Medoid*) (KAUFMAN & ROUSSEEUW, 1990), encontrado no *software* S-PLUS®, entre todas as curvas a serem separadas em cada instante de tempo.

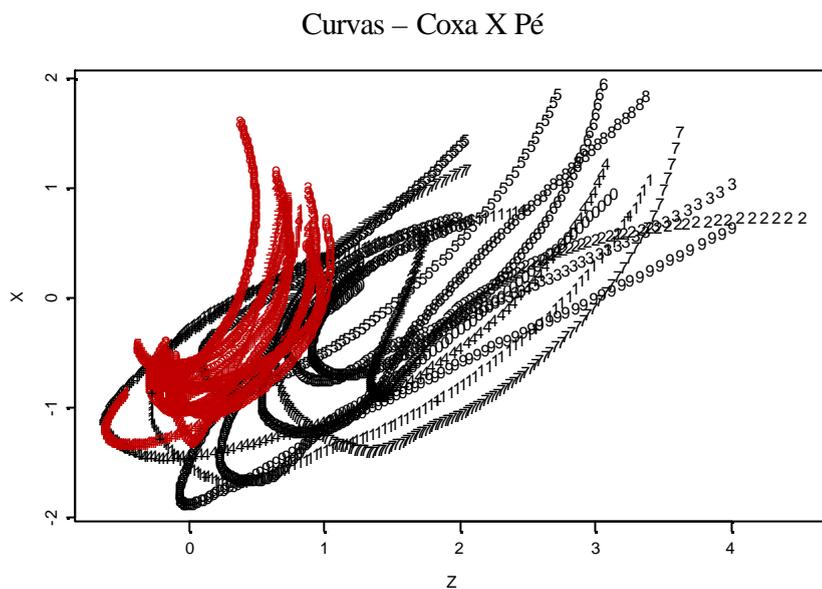


Figura 9 – Comparação entre dois segmentos distintos. Exemplificação de uma separação máxima.

A **Figura 9** mostra dois conjuntos de curvas das projeções estereográficas de dois segmentos diferentes, para exemplificar uma separação ideal das curvas. É possível perceber claramente que existem dois conjuntos de curvas que definem padrões de movimento distintos.

O histograma da **Figura 10** exemplifica a frequência de tempo com que cada curva está em determinado grupo. Cada curva é formada por 200 pontos e a função *cluster* PAM admite que a primeira curva está 100% do ciclo dentro do *grupo 1*. A partir de então, todas as outras curvas terão suas frequências de presença dentro deste grupo comparadas em relação à primeira curva. As dez primeiras colunas representam um grupo de curvas pré-definido, neste caso, para exemplificar a situação de separação dos *clusters*, as curvas são do segmento coxa de um determinado participante. As outras dez representam as projeções

estereográficas do pé deste mesmo participante. Portanto, se todas as curvas fizerem parte do mesmo *cluster*, em 100%, todas as colunas estariam presentes. Por outro lado, as curvas que não fazem parte do *grupo 1* definido pela primeira curva (referência), não aparecem no histograma. O Histograma possui linhas transversais vermelhas que dividem o espaço em 25, 50, 75, e 100%.

Pode-se observar que todas as dez primeiras curvas pertencem ao mesmo grupo (segmento coxa), enquanto as outras dez não fazem parte do *grupo 1* e se enquadram todas em um segundo (segmento pé).

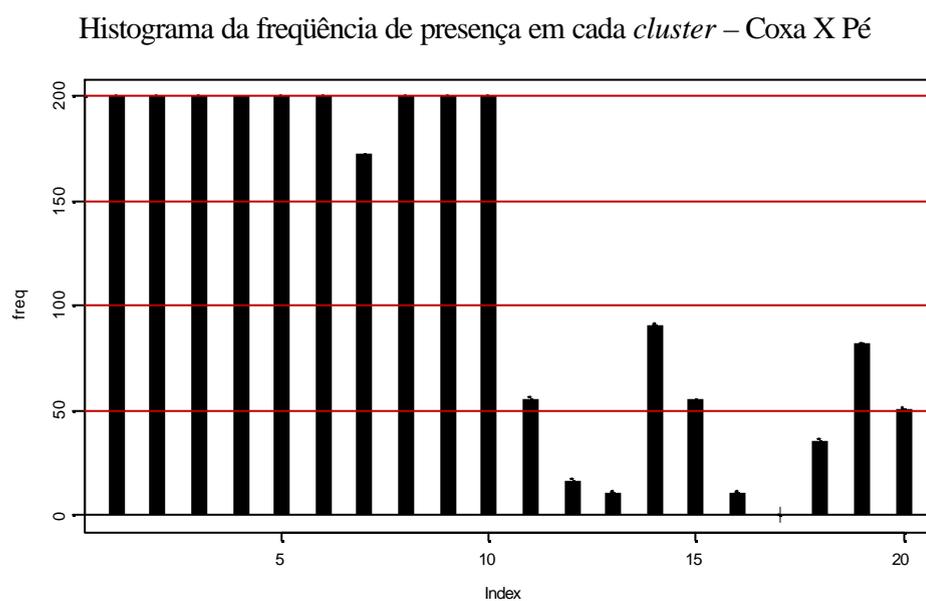


Figura 10 – Histograma de separação dos conjuntos de curvas através da análise por *cluster*.

Essa diferença é estatisticamente comprovada através do coeficiente de silhueta (**SC** ou “*silhouette coefficient*”), que é determinado para cada t_i , $i=1:n$,

onde n é o número de pontos que a função determina. Ele pode ser resumido da seguinte forma (KAUFMAN & ROUSSEEUW, 1990):

Seja $s(i)$ a variável que mede quanto os dados estão bem classificados em termos da análise por *cluster*, ou o grau de separação entre os grupos. Ele é definido como segue:

$a(i)$ = média de todas as distâncias entre os pontos das as curvas de um mesmo grupo para cada t_i .

$b(i)$ = menor distância entre os pontos de uma curva e os pontos das curvas do outro grupo para cada t_i .

Então, $s(i) = b(i) - a(i) / \max\{a(i), b(i)\}$, para cada t_i

Fazendo-se isto para todos t_i , tem-se o coeficiente de silhueta st .

Se $sm(k)$ for a média dos st para todos os valores de k (números de grupos possíveis de serem classificados os dados).

Então $SC = \max(sm(k))$, para todo k .

Neste caso, k é sempre igual a 2, pois queremos apenas dois grupos diferentes.

Como a análise é feita ponto a ponto e o movimento do chute é um movimento de cerca de 300 milissegundos, foram utilizadas as fases do chute para um foco maior da análise e da possível intervenção prática. A fase de apoio (**F1**) representa 65% do movimento, enquanto a fase de contato (**F2**) representa os 35% restantes. Um conjunto de curva não possui padrões distintos durante todo o movimento, portanto, a idéia da porcentagem de tempo em que ocorre esta diferença comparativamente pode trazer uma maior compreensão do fenômeno ocorrido nas duas situações.

Para se determinar as diferenças entre as duas fases do chute a idéia é a comparação entre os intervalos de confiança da mediana dos valores **SC** da fase de apoio (**F1**) e fase de contato (**F2**). O intervalo de confiança assegura que 95% dos dados estão aí presentes. Para se afirmar uma diferença estatística nos padrões de movimento dos dois grupos de curva, o intervalo de confiança dos boxplots do **SC** devem estar com um valor de **SC > 0.4** (KAUFMAN & ROUSSEEUW, 1990). Se o valor mínimo do intervalo de confiança de uma fase for maior que o valor máximo do intervalo de confiança da outra fase, quer dizer que existe diferença significativa também entre as fases do movimento.

O boxplot abaixo (**figura 11**) representa a variabilidade do **SC** para as duas fases do movimento das comparações feitas anteriormente (Coxa x Pé). Nota-se que a separação é significativa com o valor da mediana do boxplot marcando **SC > 0.6** em **F1** e chegando a **SC > 0.7** em **F2**. Além disso, há diferença entre as fases **F1** e **F2**, pois os intervalos de confiança dos boxplots de cada fase não estão sobrepostos, determinando que o maior valor deste intervalo em **F1** é menor que o menor valor em **F2**.

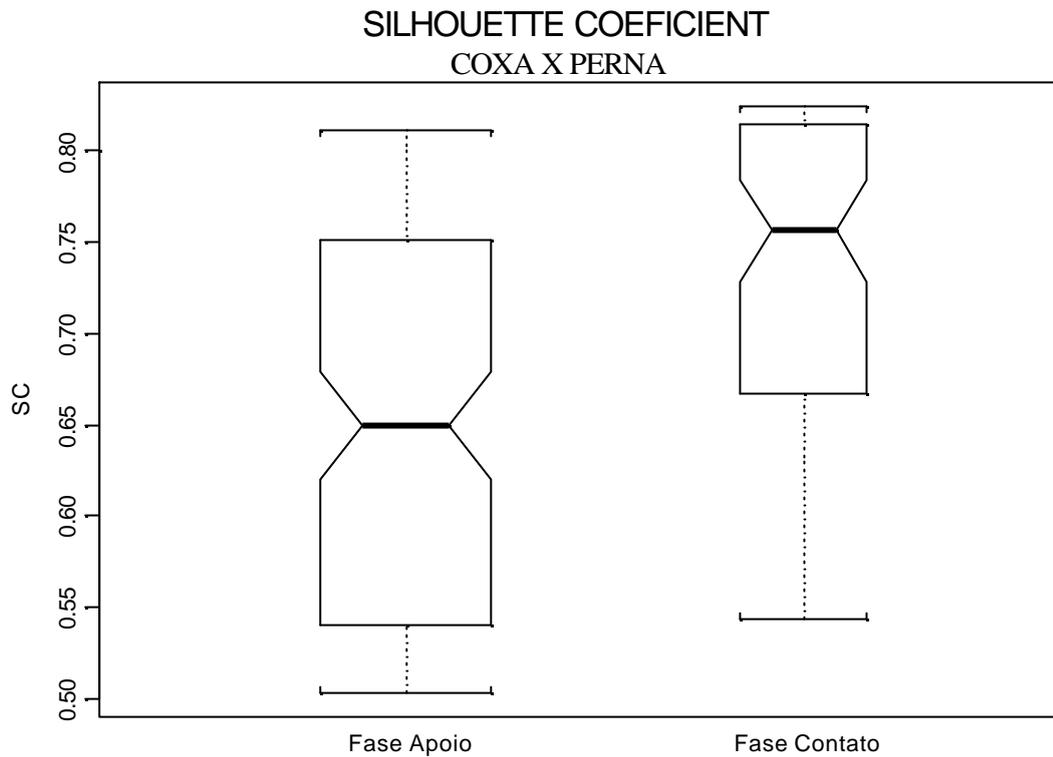


Figura 11 – Boxplot da variabilidade do SC para fase de Apoio (F1) e fase de Contato (F2).

Estes três gráficos representam uma situação simulada que não será analisada posteriormente (Coxa x Pé), mas dá a idéia do que seria uma separação perfeita entre os dois conjuntos de curvas.

VII - RESULTADOS E DISCUSSÃO

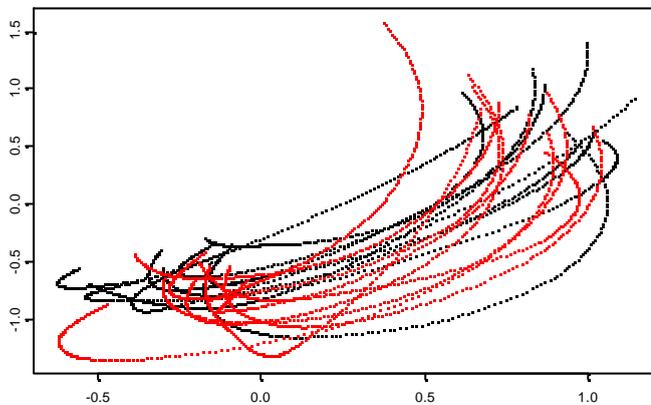
Neste tópico serão apresentados os resultados através dos gráficos de comparação entre as projeções estereográficas de cada segmento (curvas médias), os gráficos dos “*boxplots*” da variabilidade do **SC** em cada fase do chute e os histogramas com as frequências de presença de curvas dentro do grupo.

Seqüencialmente estão apresentadas as comparações:

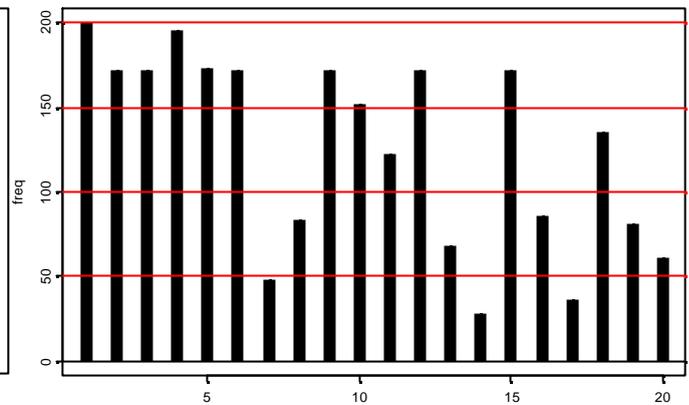
- **GPD X GND (coxa, perna e pé).**
- **GPE X GNE (coxa, perna e pé).**
- **GPD X GPE (coxa, perna e pé).**
- **GND X GNE (coxa, perna e pé).**

A discussão dos resultados será referenciada muito mais às hipóteses deste estudo do que a dados já publicados, principalmente pela escassez de estudos que trabalham com este tipo de metodologia e comparações.

Padrões Cinemáticos da coxa – GPD X GND



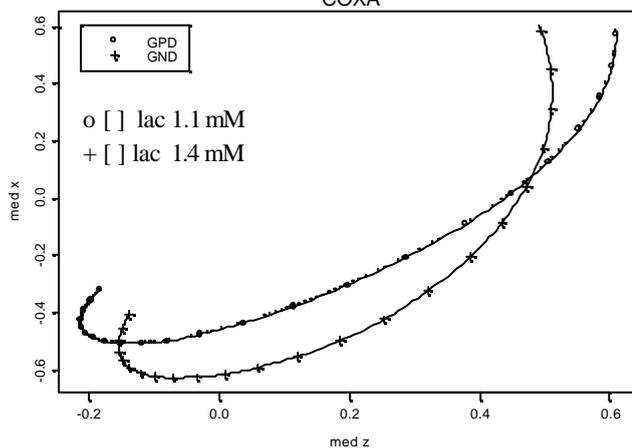
Frequência de presença das curvas – GPD X GND



Número de curvas

FIGURA 12 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da coxa dos grupos GPD e GND e frequência de presença das curvas dentro do grupo.

CURVAS MÉDIAS COXA



SILHOUETTE COEFICIENT

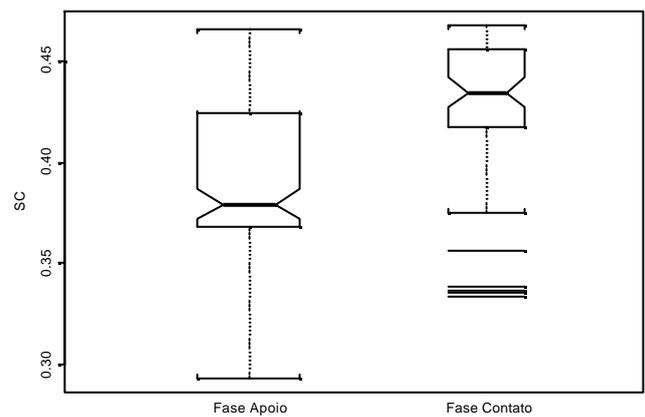


FIGURA 13 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da coxa (curvas médias) dos grupos GPD e GND e coeficientes de silhueta (SC) para o segmento da coxa.

No gráfico de comparação entre as curvas médias da coxa (**figura 13**) dos grupos **GPD X GND** pode-se observar que existe uma diferença visível de padrão entre as curvas médias do segmento da coxa.

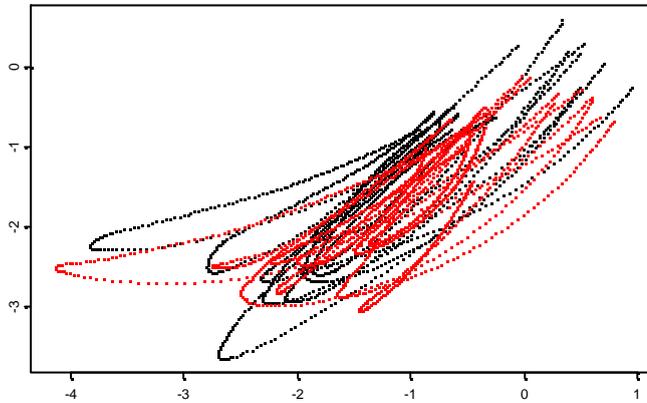
A variabilidade dos boxplots acusa que não há diferença significativa entre os grupos na fase de apoio (**F1**). Já a fase de contato (**F2**), que corresponde ao término do movimento, apresenta diferença significativa com o **SC > 0.4**.

Devido aos valores dos intervalos de confiança dos boxplots nas duas fases é possível afirmar que existe uma diferença significativa entre as duas fases do chute.

Analisando o histograma da frequência com que cada curva aparece no *grupo 1* nota-se uma forte tendência à separação. Esta afirmação pode ser confirmada quando, observa-se que, das 10 (dez) primeiras curvas, que fazem parte do grupo **GPD**, 8 delas aparecem com mais de 75% de frequência no *grupo 1*, enquanto das outras 10 (dez), pertencentes ao grupo **GND**, somente 2(duas) chegam a esse valor.

Nota-se que mesmo as curvas médias apresentando padrões diferenciados, o índice do **SC** é baixo, fazendo com que a diferença estatística seja pequena, daí a dificuldade de se determinar grandes separações.

Padrões Cinemáticos da perna – GPD X GND



Frequência de presença das curvas – GPD X GND

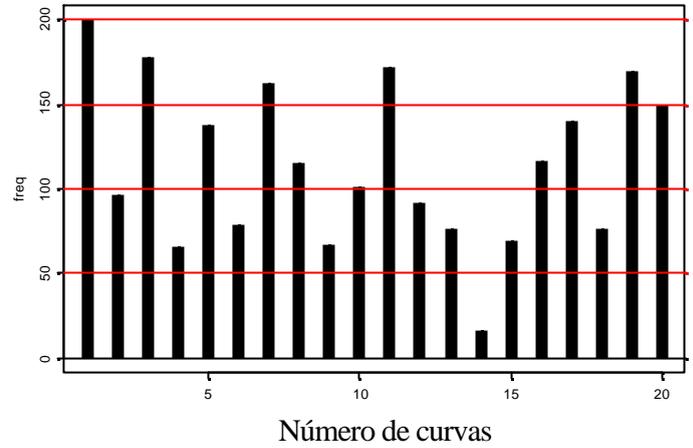


FIGURA 14 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da perna dos grupos GPD e GND. e frequência de presença das curvas dentro do grupo.

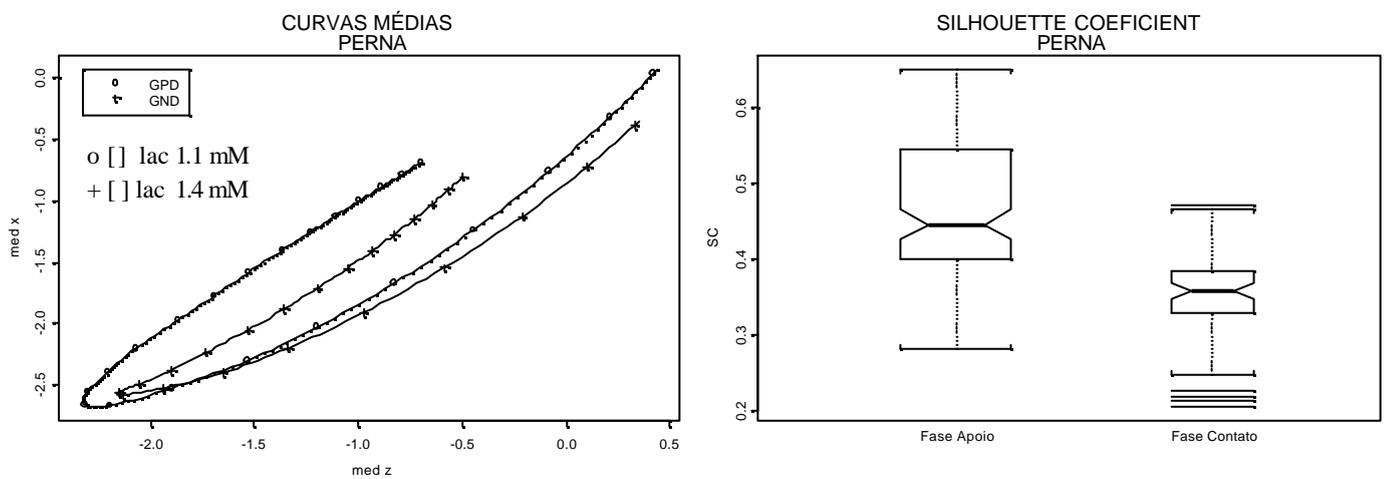


FIGURA 15 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da perna (curvas médias) dos grupos GPD e GND e coeficientes de silhueta (SC) para o segmento da perna.

Observando as curvas médias das projeções estereográficas da perna nota-se um padrão de movimento semelhante, mas não idêntico. O grupo **GPD** apresenta uma maior amplitude no movimento.

No gráfico do histograma de frequência das curvas é possível confirmar este comportamento equilibrado, o que nos leva a crer que as curvas estão separadas, apenas em uma das fases estatisticamente.

Percebe-se também uma ocorrência de forma inversa à da coxa, ou seja, a separação maior entre os dois grupos de curvas ocorre apenas em **F1** com **SC >0.4**. Já em **F2** não foi possível detectar diferença significativa.

Igualmente ao ocorrido no segmento da coxa, os valores dos intervalos de confiança dos boxplots determinam que as fases do movimento **F1** e **F2** também estão separadas estatisticamente.

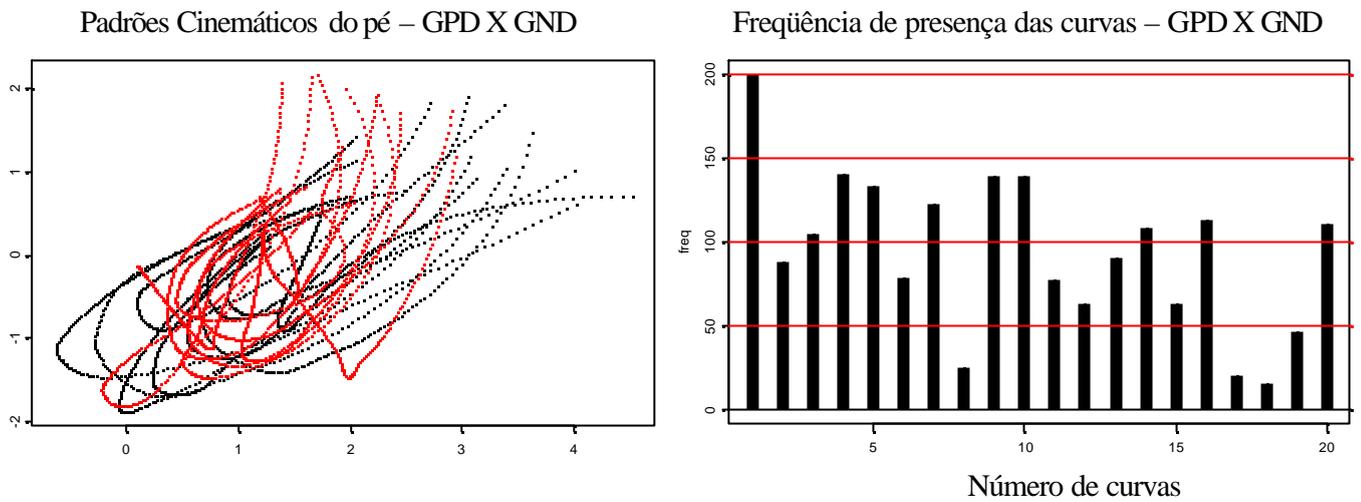


FIGURA 16 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas do pé dos grupos GPD e GND e frequência de presença das curvas dentro do grupo.

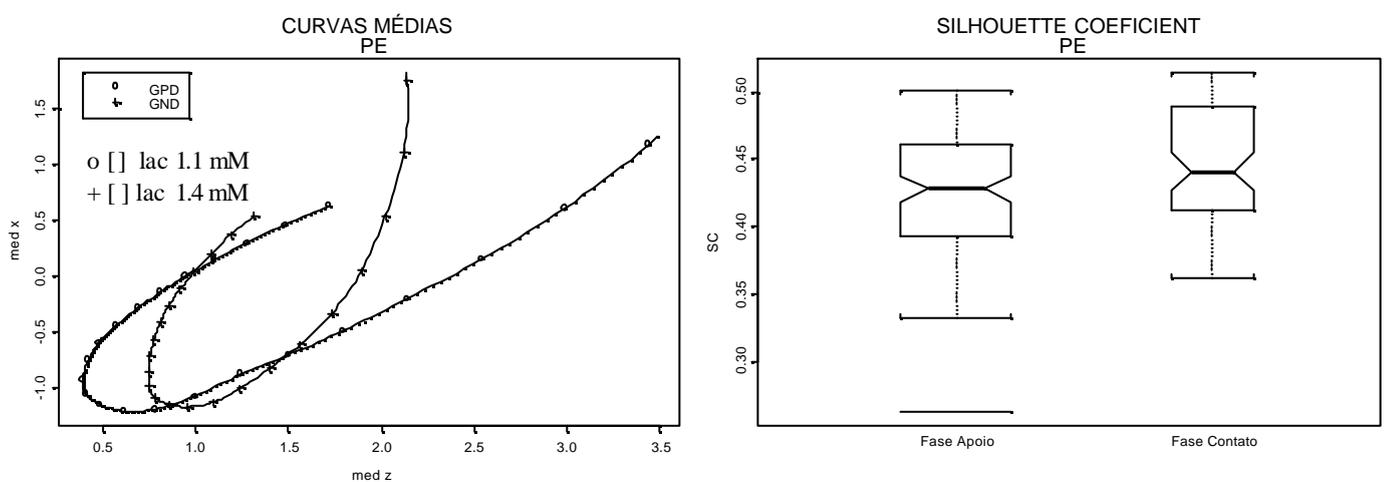


FIGURA 17 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas do pé (curvas médias) dos grupos GPD e GND e coeficientes de silhueta (SC) para o segmento do pé.

O gráfico das projeções estereográficas apresenta uma grande variabilidade das curvas, mas através das curvas médias é possível perceber que o grupo **GPD** apresenta uma característica no movimento do pé, própria de quem está habituado ao futebol. O contato com o pé na bola é feito com a parte medial do pé o que faz com que a curva da projeção apresente este tipo de comportamento.

Este segmento foi onde apareceram as maiores diferenças entre os dois grupos. O gráfico das projeções estereográficas que definem o padrão de cada grupo apresenta curvas distintas visualmente e o intervalo de confiança dos boxplots confirmam a separação nas duas fases com **SC > 0.4**. Não foram detectadas diferenças entre as fases **F1** e **F2**.

O gráfico da frequência de presença no grupo não mostra uma tendência à separação e isto pode ter ocorrido pelo fato de a variabilidade das curvas ser muito grande. Isto pode ter sido um fator de interferência na separação por *cluster* e vem mostrar mais uma vez a dificuldade em se detectar separações muito grandes por se tratar de um movimento, que apesar de nunca ser executado de forma idêntica, não possui uma forma extraordinária de acontecer.

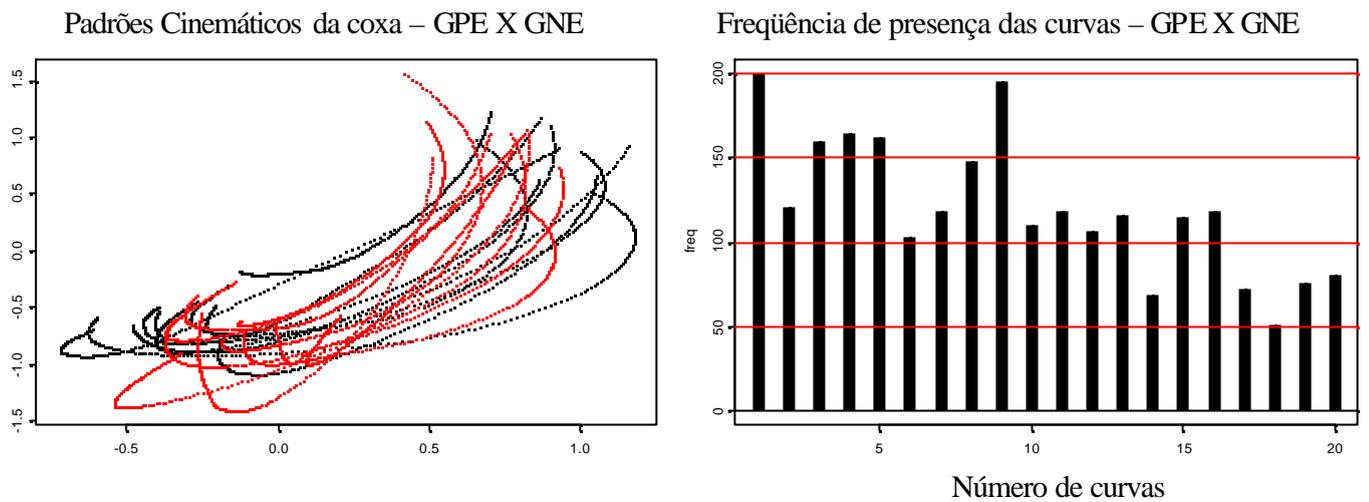


FIGURA 18 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da coxa dos grupos GPE e GNE e frequência de presença das curvas dentro do grupo.

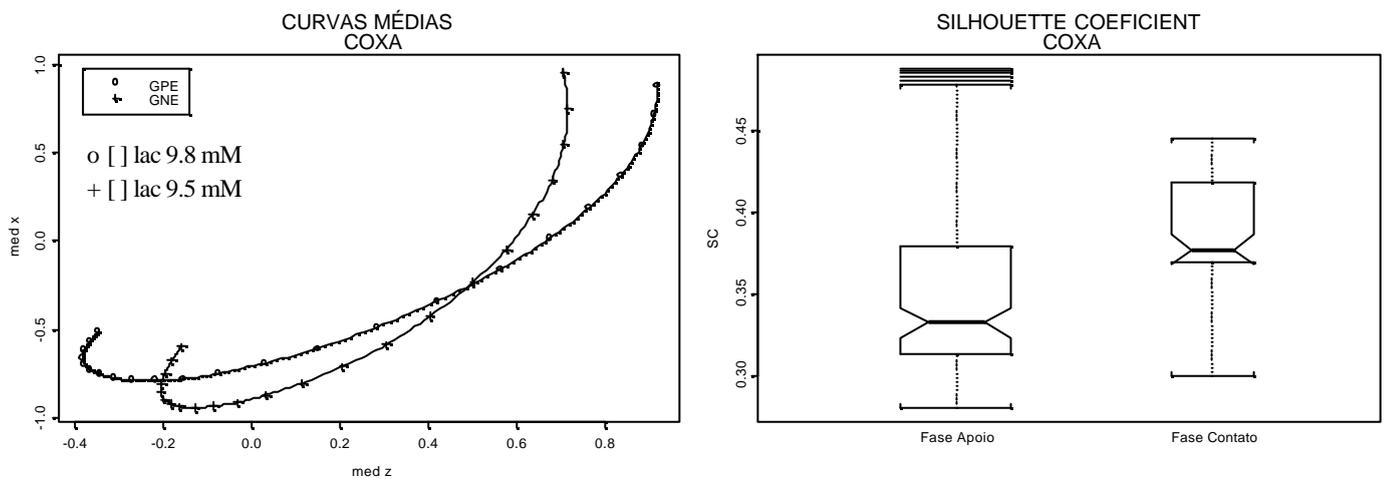


FIGURA 19 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da coxa (curvas médias) dos grupos GPE e GNE e coeficientes de silhueta (SC) para o segmento da coxa.

As projeções estereográficas das comparações entre os grupos **GPE** X **GNE** das curvas médias apresentam visualmente uma diferença, mas esta não foi detectada pelo gráfico da variabilidade dos boxplots. Isto se deve mais uma vez a variabilidade das curvas, como se pode observar no primeiro gráfico, que acabam “camuflando” as diferenças entre os grupos. Isto pode ocorrer pois a análise por *cluster* define dois grupos dentro daqueles conjuntos de curvas, mas quem define estes grupos é a função. Naturalmente a função pode encontrar grupos semelhantes ponto a ponto de cada curva.

Mas, apesar de o boxplot da variabilidade do **SC** não encontrar diferença significativa, o gráfico de frequência de presença acusa uma forte tendência à separação, visto que, seis curvas do grupo **GPE** estão acima de 75% presentes no grupo 1, enquanto seis das curvas do grupo **GNE** só chegam em 50% de presença no mesmo grupo das curvas do grupo **GPE**.

É importante salientar que o comportamento da curva de projeção estereográfica da coxa na situação de descanso tem praticamente o mesmo padrão das curvas na situação de exaustão e isso será discutido posteriormente.

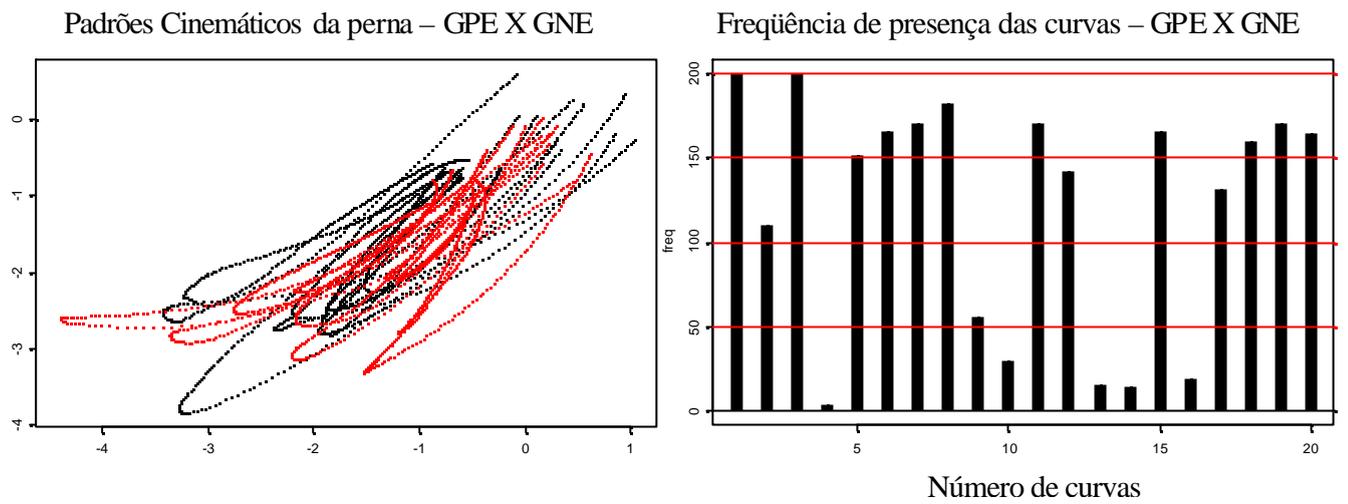


FIGURA 20 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da perna dos grupos GPE e GNE e freqüência de presença das curvas dentro do grupo.

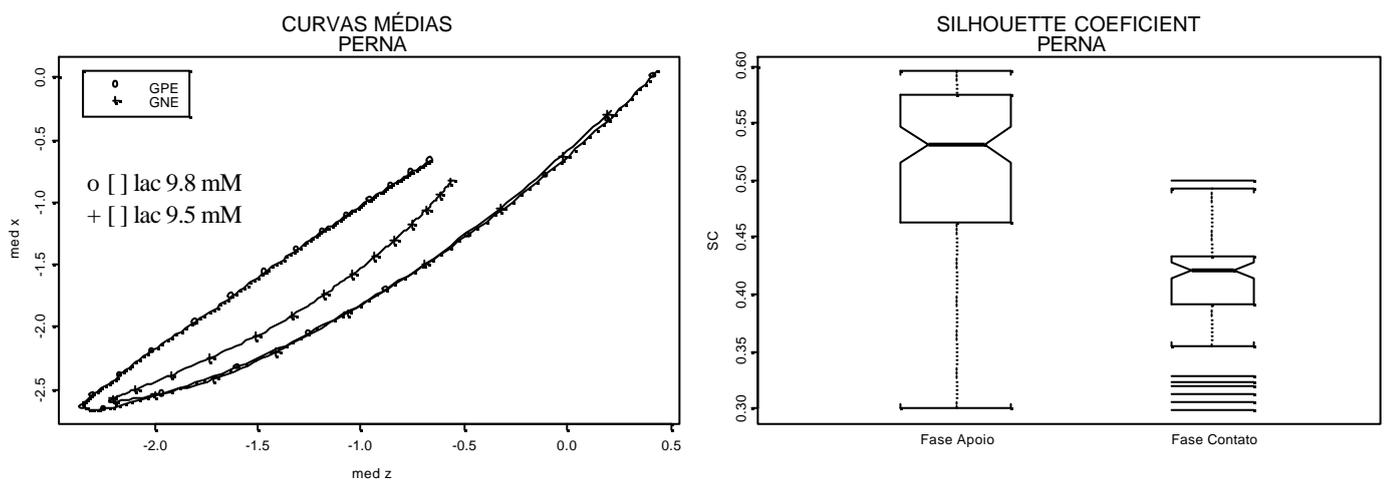


FIGURA 21 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da perna (curvas médias) dos grupos GPE e GNE e coeficientes de silhueta (SC) para o segmento da perna.

Acompanhando as informações visuais e os boxplots do **SC** é possível afirmar que há diferença estatística detectada entre os padrões de movimento dos dois conjuntos de curvas.

Houve diferença entre os grupos apenas em **F1** com **SC > 0.5**. Em **F2**, a mediana do boxplot tem um valor muito próximo de 0.4, mas não suficiente para garantir uma diferença significativa.

Há também uma separação entre as fases, como confirmam os valores dos intervalos de confiança dos boxplots, com **F1** apresentando maiores separações.

Correlacionando estes resultados com o gráfico de frequência de presença em um mesmo grupo, é possível afirmar que apesar da diferença detectada entre os padrões de movimento dos dois conjuntos de curvas, estes estão bastante equilibrados quando a análise é realizada a partir deste gráfico, mas as diferenças neste caso parecem estar realmente de acordo com o comportamento do fenômeno e mais uma vez aparecem com valores menores que no segmento da coxa.

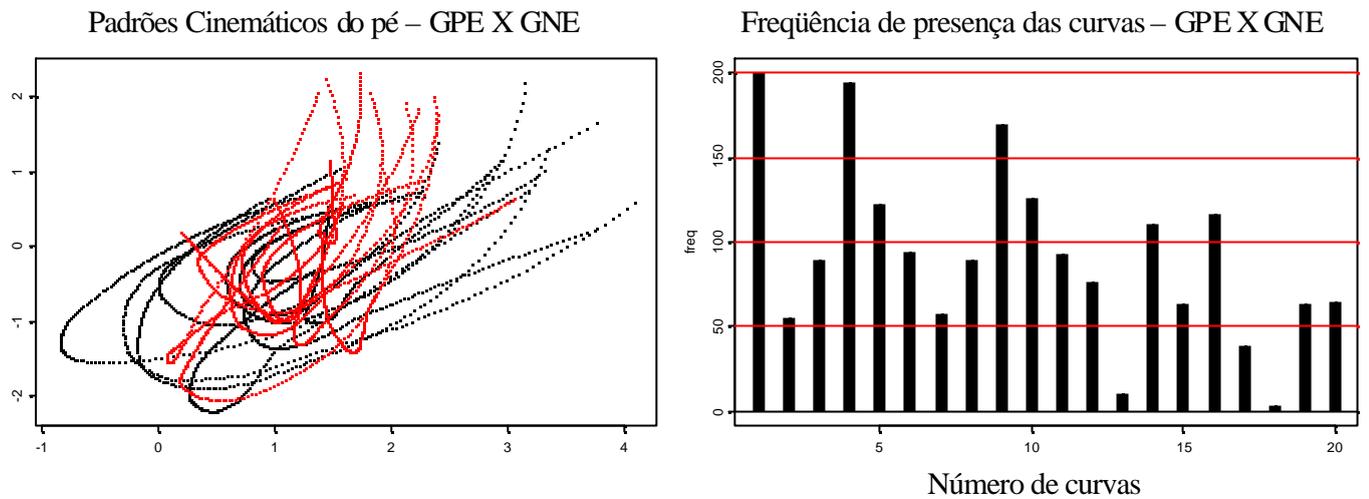


FIGURA 22 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas do pé dos grupos GPE e GNE e frequência de presença das curvas dentro do grupo.

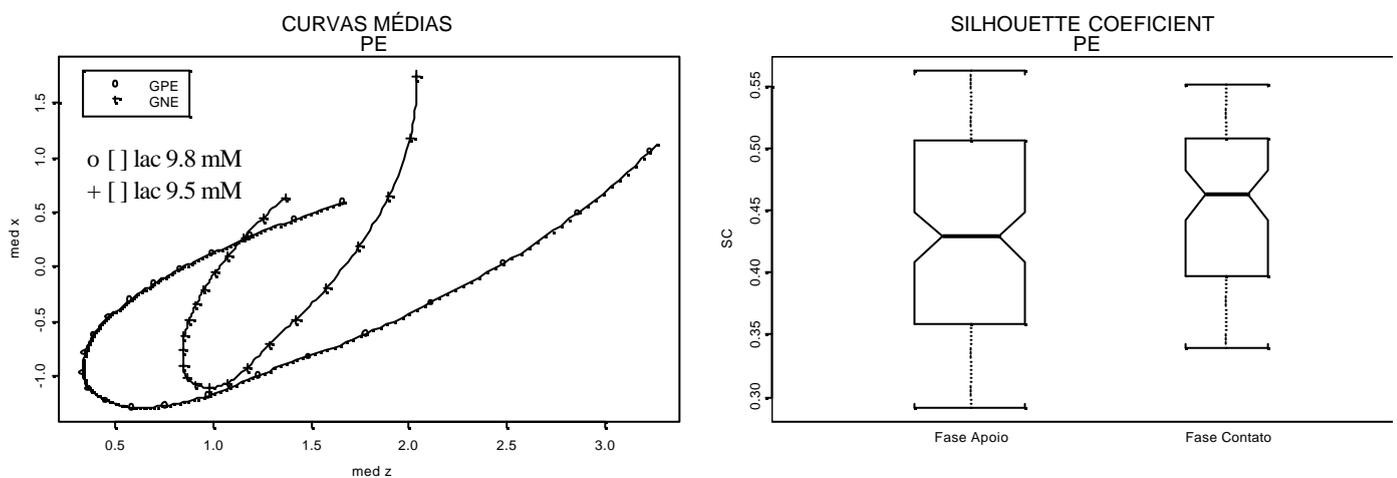


FIGURA 23 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas do pé (curvas médias) dos grupos GPE e GNE e coeficientes de silhueta (SC) para o segmento do pé.

Novamente é no segmento pé que se nota a maior das diferenças entre as curvas para os dois grupos.

Pode-se observar um comportamento semelhante ao ocorrido na situação de descanso, com a curva dos praticantes tendendo a uma rotação lateral próxima ao contato da bola (final do movimento).

Neste segmento foram detectadas diferenças entre os grupos nas duas fases com **SC > 0.4**, mas não foram encontradas diferenças entre **F1** e **F2**.

Como se pode observar no gráfico de frequência de presença das curvas em cada grupo, seis das curvas do grupo **GPE** estão com 50% de presença no *grupo 1* enquanto apenas duas curvas do grupo **GNE** chegam a esse valor, confirmando mais uma vez assim a maior diferença de padrão de movimento entre estes dois grupos.

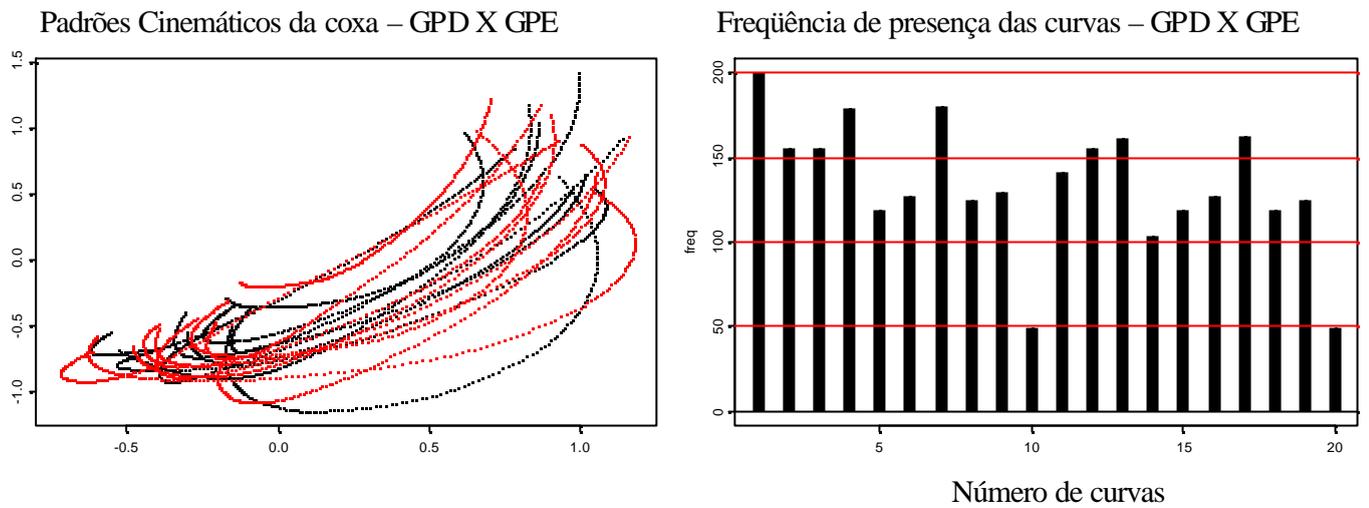


FIGURA 24 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da coxa dos grupos GPD e GPE e frequência de presença das curvas dentro do grupo.

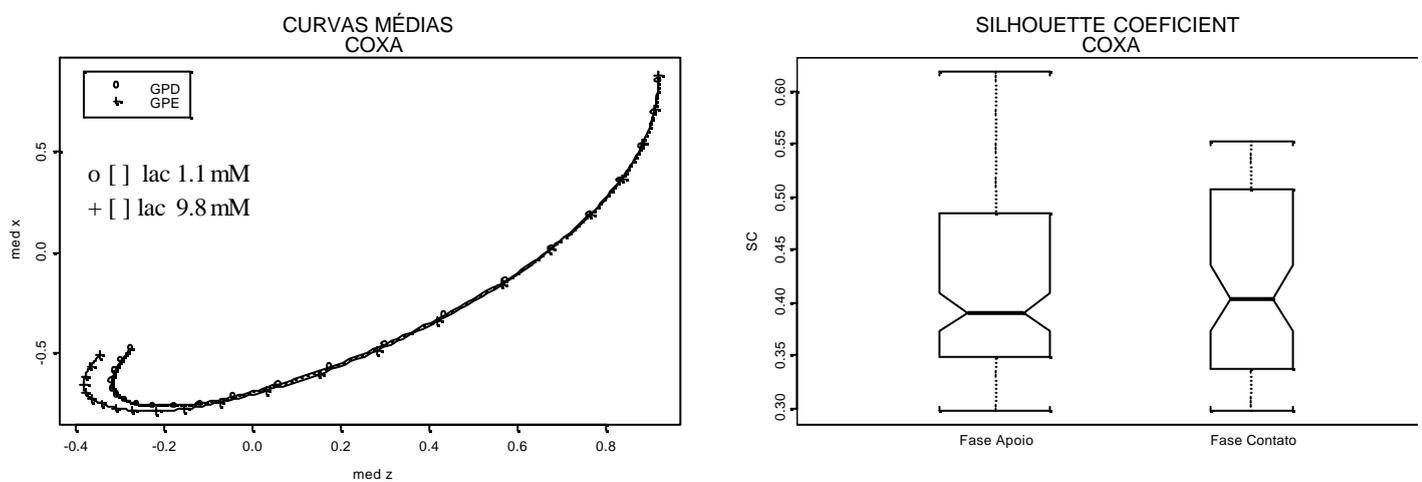


FIGURA 25 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da coxa (curvas médias) dos grupos GPD e GPE e coeficientes de silhueta (SC) para o segmento da coxa.

Diferentemente das comparações realizadas entre os grupos de participantes, nesta comparação intragrupo os resultados surpreendem e apresentam dados interessantes.

No segmento da coxa, a comparação dos padrões de movimento realizada entre **GPD X GPE** não apresenta diferença entre os grupos nem entre as fases.

O gráfico das projeções que definem os padrões de movimento mostra um padrão praticamente idêntico entre as duas situações, apresentando uma pequena diferença visual no início do movimento.

Corroborando com as informações fornecidas pelos gráficos anteriores, o histograma de frequência de presença das curvas em um *cluster* demonstra que praticamente todas as curvas pertencentes a ambos os grupos chegam a estar mais de 50% dentro do *grupo 1*.

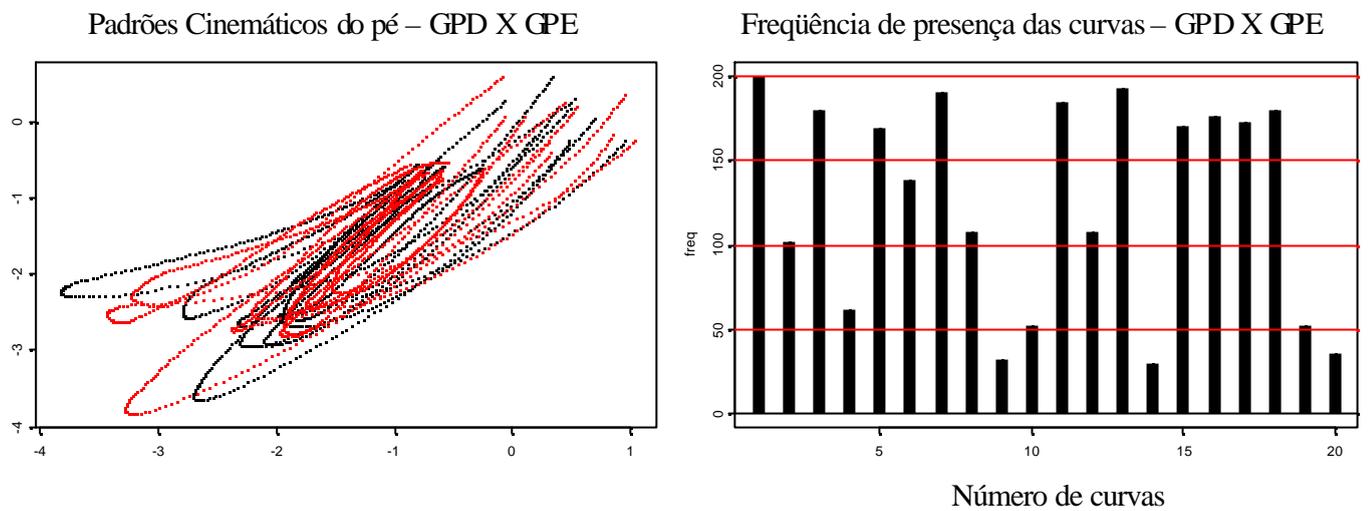


FIGURA 26 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da perna dos grupos GPD e GPE e frequência de presença das curvas dentro do grupo.

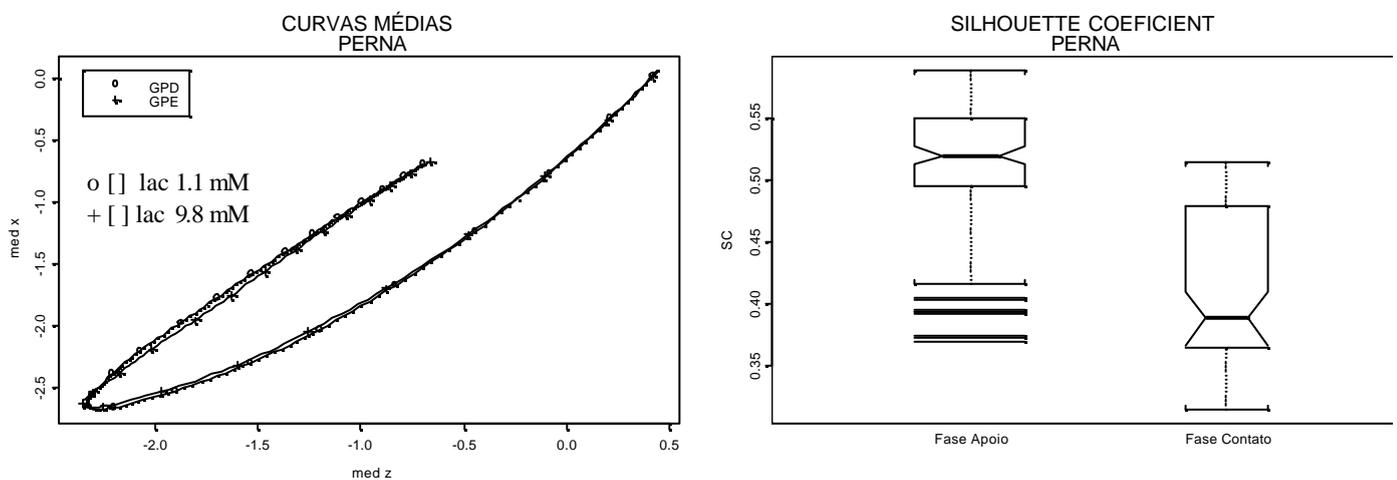


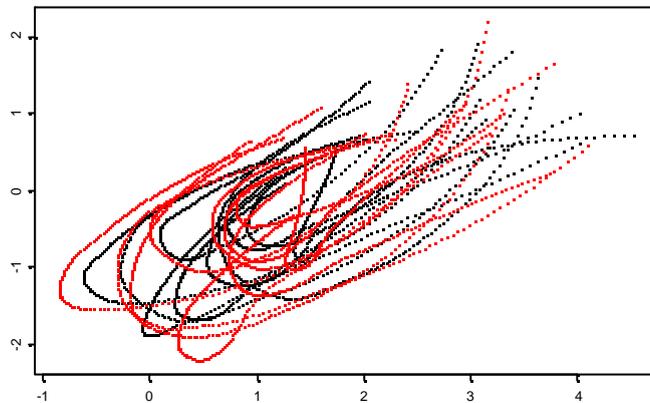
FIGURA 27 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da perna (curvas médias) dos grupos GPD e GPE e coeficientes de silhueta (SC) para o segmento da perna.

No segmento da perna o gráfico que determina o padrão de movimento através das curvas médias demonstra uma exata similaridade entre as curvas, e mesmo assim houve diferença entre os grupos em **F1**.

O primeiro gráfico da **figura 26** mostra a variabilidade com que as curvas estão dispostas e é esta variabilidade que está fazendo com que a análise por cluster venha detectar diferenças entre os dois grupos, o que claramente não há.

Talvez o segundo gráfico da **figura 26** explique o motivo pelo qual exista esta diferença. O histograma mostra a frequência dos pontos de cada curva que estão dentro de um mesmo *cluster*. As dez primeiras curvas são do **GPD** e as outras dez pertencem ao **GPE**. Pode-se observar que existem curvas do **GPE** que estão quase 100% dentro de **GPD**. Isto quer dizer que a separação por “*cluster*” pode ter encontrado dois grupos distintos em relação à perna, mas esses dois grupos não dizem respeito aos grupos pré-definidos (**GPD e GPE**). A função encontrou dois grupos aleatórios que estão separados significativamente com **SC > 0.5**, o que definitivamente não acontece com as projeções de GPD X GPE na perna.

Padrões Cinemáticos do pé – GPD X GPE



Frequência de presença das curvas – GPD X GPE

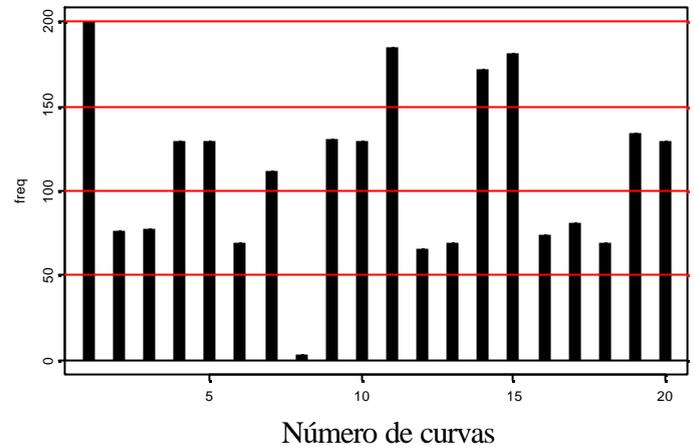


FIGURA 28 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas do pé dos grupos GPD e GPE e frequência de presença das curvas dentro do grupo.

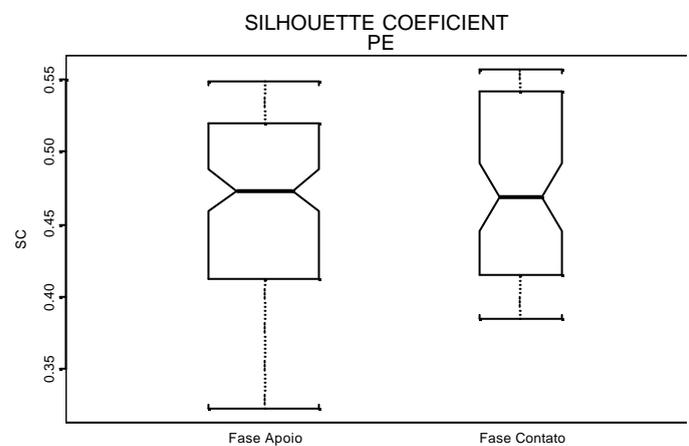
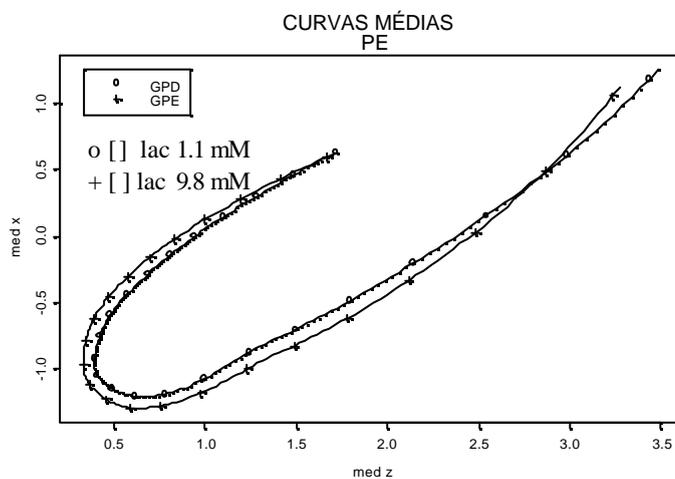


FIGURA 29 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas do pé (curvas médias) dos grupos GPD e GPE e coeficientes de silhueta (SC) para o segmento do pé.

No segmento pé, os gráficos das projeções estereográficas continuam apresentando grande variabilidade nas diferentes curvas e o gráfico da curvas média apresenta uma pequena diferença visual, mas com uma tendência à similaridade

Os boxplots das duas fases acusam diferença entre os grupos, mas não encontra diferença entre as fases, contudo é importante salientar que o gráfico de frequência das curvas em cada grupo indica que esta diferença é mínima, ou não existe, visto que, três curvas do grupo **GPE** pertencem ao *grupo 1*, o mesmo de **GPD** e nenhuma curva do grupo **GPD** chega a 75% de presença no cluster definido pela primeira curva.

Provavelmente isto tenha acontecido pelo mesmo fato citado anteriormente com o segmento da perna.

Estes resultados seguem contra a hipótese deste estudo de que os indivíduos teriam padrões diferenciados quando em situações de descanso e exaustão e corroboram com o resultado anterior apresentando as maiores diferenças no pé.

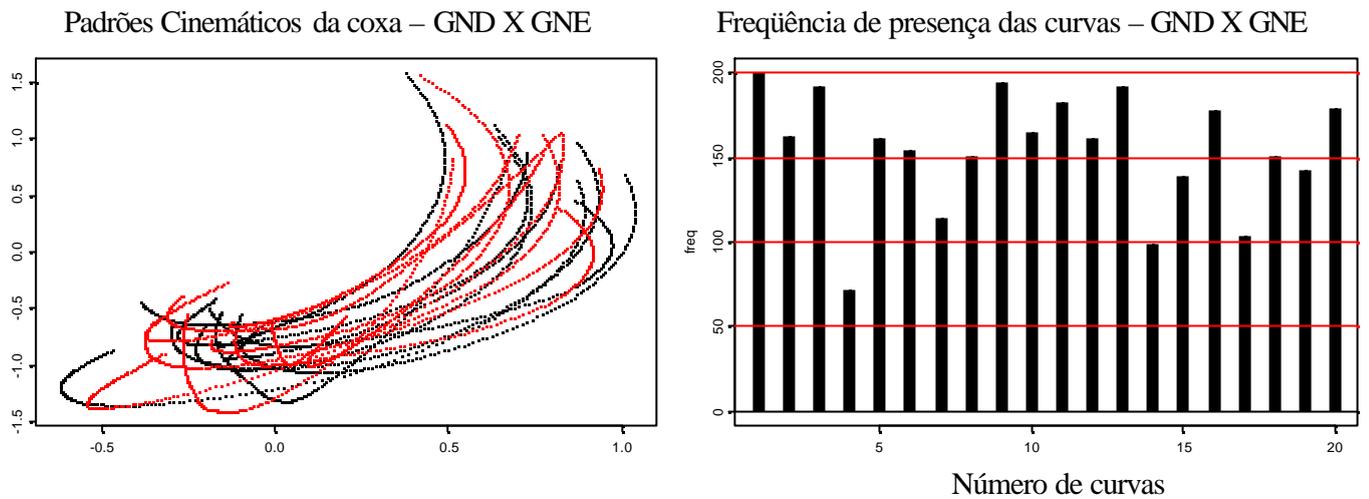


FIGURA 30 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da coxa dos grupos GND e GNE e frequência de presença das curvas dentro do grupo.

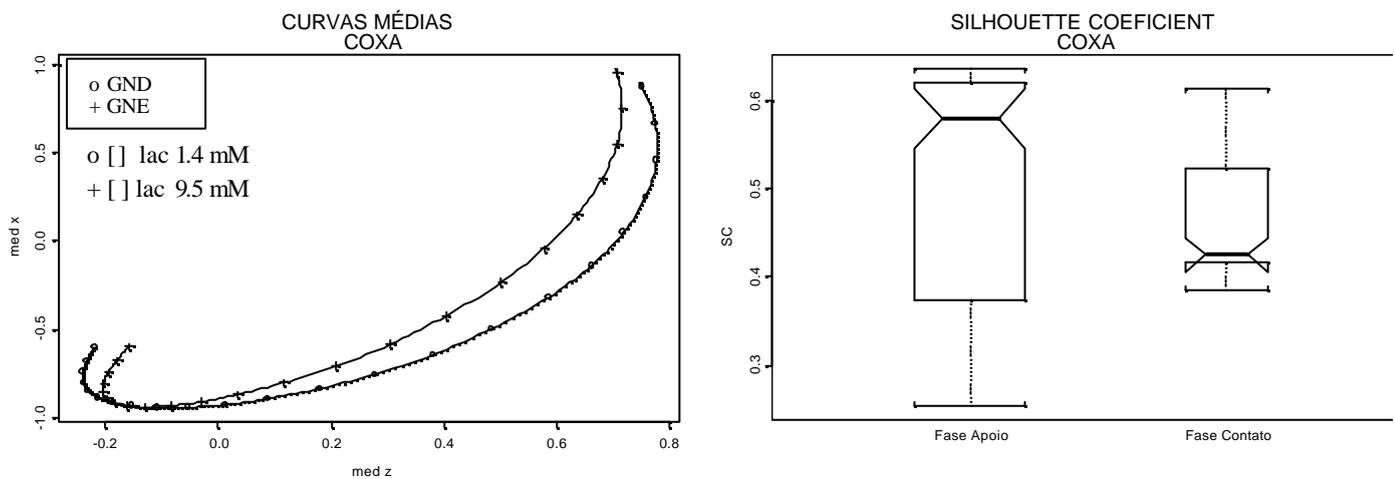
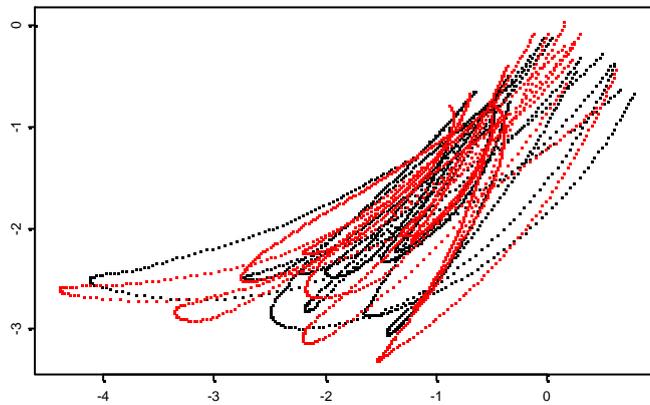


FIGURA 31 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da coxa (curvas médias) dos grupos GND e GNE e coeficientes de silhueta (SC) para o segmento da coxa.

As últimas comparações realizadas foram entre os grupos **GND** e **GNE**. No segmento da coxa a diferença visual entre as curvas que determinam o padrão de movimento é maior que quando comparamos o **GPD** e **GPE**. Isto fortalece a idéia de que os não praticantes sentem maior dificuldade em se adaptar à situação de exaustão para a execução de um movimento não habituado. Estatisticamente estas diferenças também acabam aparecendo nas duas fases. Em **F1** há diferença com **SC > 0.6** e em **F2** a diferença cai um pouco, mas ainda é significativa com **SC > 0.4**. Há diferença também entre as fases.

Mais uma vez o histograma da frequência de presença das curvas em cada grupo vai de encontro com a diferença estatística encontrada através da análise por *cluster*. Novamente a separação pode ter acontecido de forma a encontrar dois grupos distintos, mas estes acabam não sendo os grupos pré-definidos pelo presente estudo. A separação neste caso acaba sendo camuflada provavelmente pela variabilidade do conjunto de curvas dos participantes.

Padrões Cinemáticos da perna – GND X GNE



Frequência de presença das curvas – GND X GNE

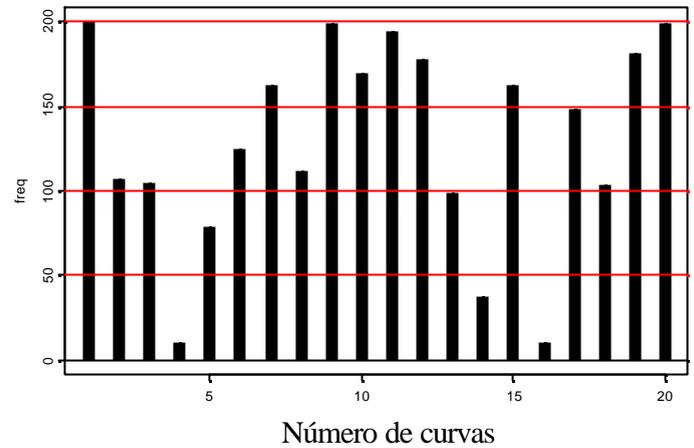


FIGURA 32 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da perna dos grupos GND e GNE e frequência de presença das curvas dentro do grupo.

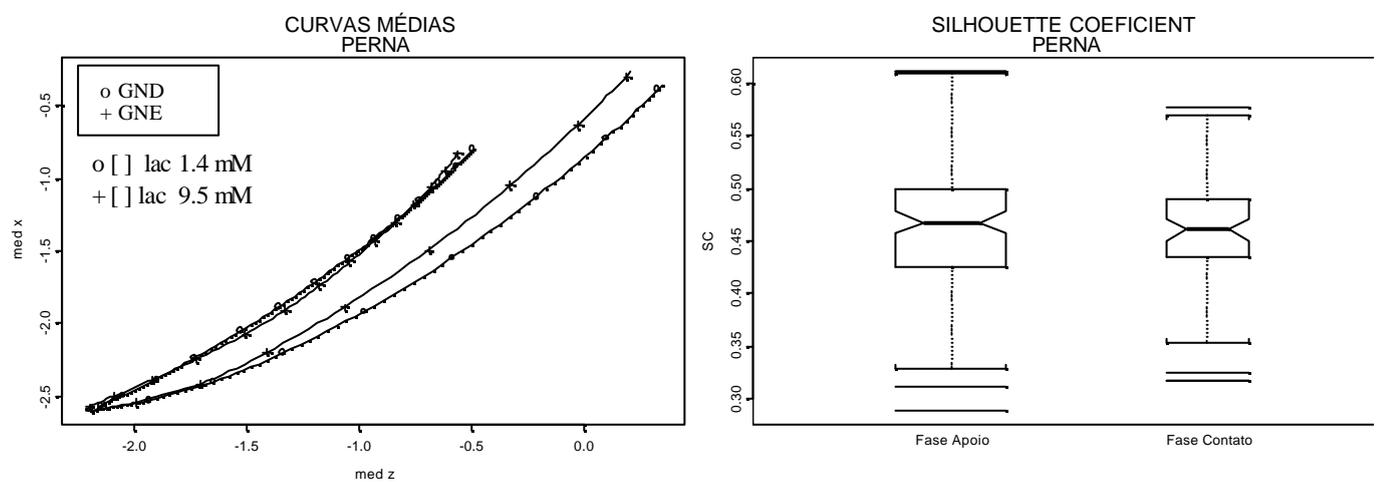


FIGURA 33 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas da perna (curvas médias) dos grupos GND e GNE e coeficientes de silhueta (SC) para o segmento da perna.

Visualmente as curvas das projeções estereográficas da perna para essa situação possuem uma diferença um pouco maior do que a diferença detectada para **GPD X GPE**, mas ainda assim apresentam padrões bastante semelhantes.

Quando verificado o resultado das comparações entre esses dois grupos em relação ao segmento perna pode-se afirmar que existe uma pequena diferença, mas significativa, com **SC > 0.45** nas duas fases, e não há uma diferença significativa entre as fases.

Essa diferença pode ser contestada quando se analisa o segundo gráfico da **figura 32**. Existem cinco curvas do grupo **GNE** que estão mais de 75% presentes no *grupo 1* (**GND**). Isto quer dizer que, mais uma vez, a dispersão e variabilidade das curvas pode ter encoberto a verdadeira separação.

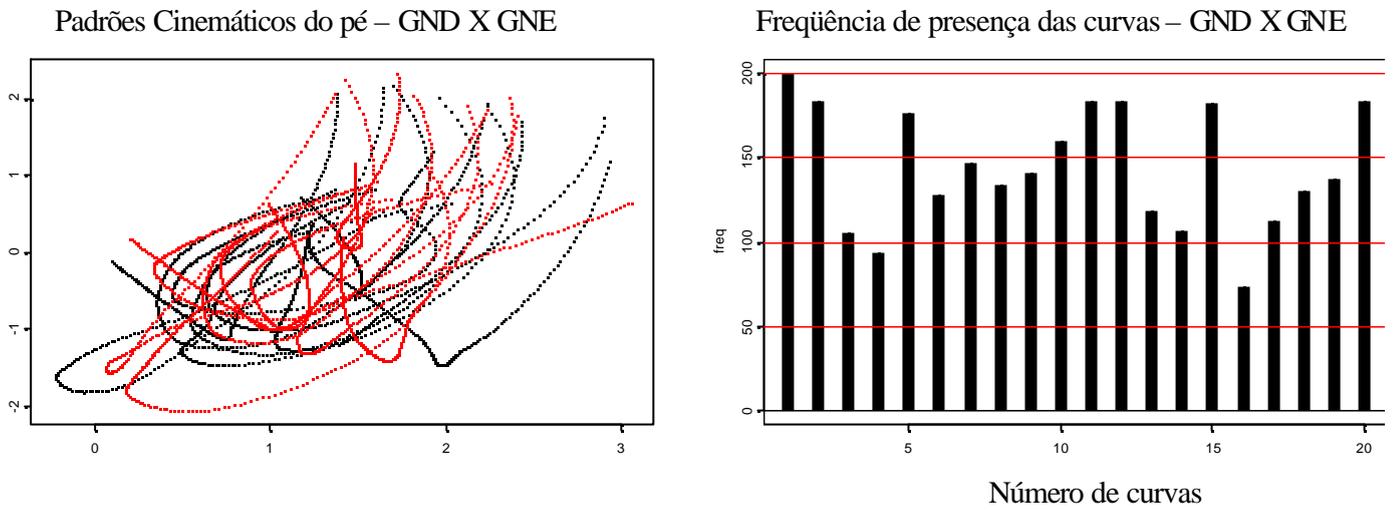


FIGURA 34 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas do pé dos grupos GND e GNE e frequência de presença das curvas dentro do grupo.

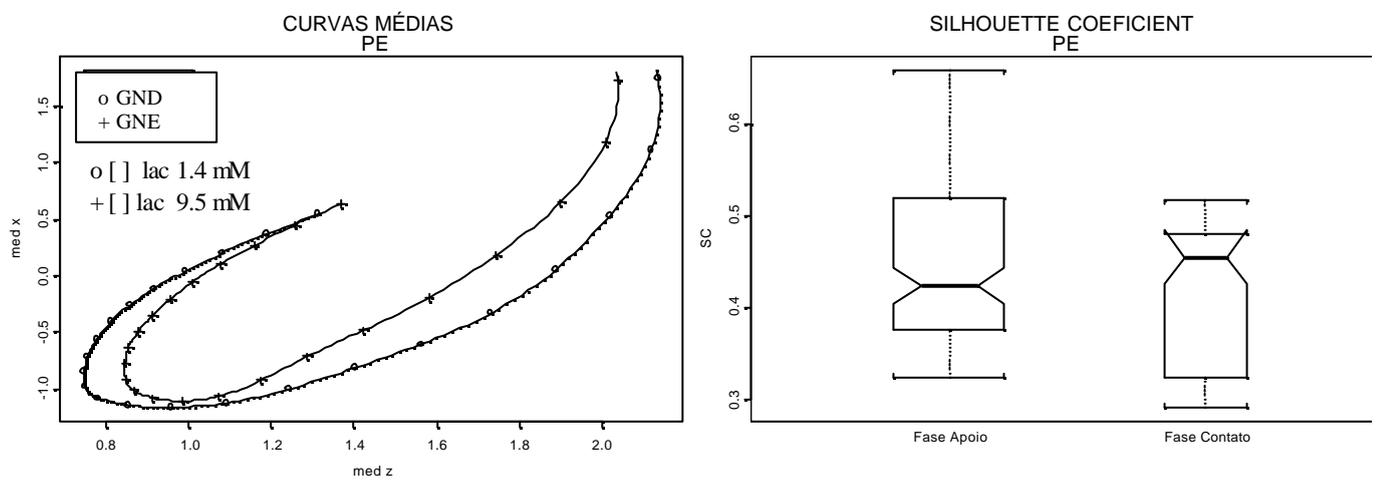


FIGURA 35 - Padrões de movimento representado pelas projeções estereográficas do pé (curvas médias) dos grupos GND e GNE e coeficientes de silhueta (SC) para o segmento do pé.

Analisando visualmente as curvas que definem os padrões de movimento do segmento pé pode-se detectar que os padrões tendem a uma semelhança, mas apresentam as maiores diferenças visuais.

Os boxplots da variabilidade do **SC** demonstram existir uma diferença no padrão de movimento tanto em **F1** como em **F2**, com **SC > 0.4**, mas não apresentam diferença entre as fases.

O histograma da frequência de presença das curvas do segmento pé (segundo gráfico da **figura 34**) dos grupos GND X GNE demonstra que, assim como na coxa e na perna, a comparação entre os grupos em situações de descanso e exaustão acaba não apresentando diferença devido a presença de 99% das curvas do grupo **GNE** estar presente com mais de 50% dos pontos no grupo 1 (**GND**).

Apesar da pequena diferença, mais uma vez foi no segmento do pé que ocorreram as maiores diferenças entre os dois grupos analisados.

CONCLUSÃO

Através das análises e das diversas comparações realizadas pode-se concluir que:

1 – O método de comparação através de projeções estereográficas e separação de curvas por “*cluster*” traz resultados consistentes para este tipo de metodologia.

2 – Existem diferenças quantitativamente comprovadas entre o padrão de movimento do chute de indivíduos que praticam regularmente o futebol e indivíduos que nunca o praticaram no que diz respeito aos segmentos inferiores.

3 – Não foram detectadas diferenças significativas quando a comparação foi realizada intragrupos nas situações de descanso e exaustão, contrariando a hipótese de que este tipo de exaustão, causada por depleção de glicogênio, pode vir a interferir na manutenção ou mudança de padrão cinemático de movimento no que diz respeito ao segmento inferior.

4 – Estas diferenças aparecem de forma sistemática com menos ocorrência na perna, depois na coxa e o pé é o segmento que apresenta as maiores diferenças encontradas. Talvez por a perna estar “atrelada” aos segmentos da coxa e do pé, é nela que ocorrem as menores diferenças e o pé, por estar situado na parte mais

distal do corpo, acaba sendo reflexo das mudanças ocorridas nos segmentos mais proximais.

5 – Em 90% das situações o segmento da coxa apresentou maiores diferenças na **Fase de Contato**. O que dá a possibilidade de uma possível intervenção na prática do ensino ou treinamento do chute no futebol ao profissional de Esporte e Educação Física, pois se sabe que a dificuldade da boa execução neste segmento pode estar centralizada no final do movimento.

6 – O segmento perna apresentou suas maiores diferenças (100% dos casos) na primeira fase, ou seja, na **Fase de Apoio**.

7 – O segmento pé, assim como a coxa apresenta suas maiores diferenças na **Fase de Contato** e talvez esteja neste segmento a grande possibilidade de intervenção do profissional para melhoria na execução do chute no futebol.

Este trabalho focaliza apenas uma parte do que precisa ser investigado para se detectar as diversas variáveis influentes na execução do chute no futebol. Estudos posteriores, como por exemplo, a investigação do comportamento do pé de apoio, dos membros superiores, tronco e cabeça devem ser incentivados para maiores descobertas de técnicas de ensino e treinamento do chute no futebol, além de um mapeamento geral do padrão cinemático do chute em outras situações e com diferentes populações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-AZIZ, Y. I., KARARA, H. M. Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates. **Proc. ASP/UI Symp. on Close-Range Photogrammetry**. Urbana, Illinois, 1971.

ALLARD, P., STOKES, I.A.F., BLANCHI, J.P. (Eds): ***Tree-dimensional analysis of human movement***. Champaign: Human Kinetics, 1995.p. 295-309.

AMADIO, A.C. ***Fundamentos Biomecânicos para Análise do Movimento Humano***. São Paulo: Laboratório de Biomecânica/EEFUSP, 1996. p10.

ANDERSON,D.I. ; SIDAWAY,B. Coordination changes associated with practice of a soccer kick. ***Research Quartely for Exercise and Sport***, v.65, n.2, p.93-99, 1994.

ASAMI,T. ; NOLTE,V. Analysis of powerfull ball kicking. In: **Biomechanics VIII-B** (ed. H.Matsui e K.Kobayashi), Champaign: Human Kinetics Publishers, p.695-700, 1983.

BARROS, R. M. L. A flexible computational environment to tack markers and reconstruct trajectories in biomechanics. In: Proceedings of the **XVth Congress of the International Society of Biomechanics**, Tokyo, p.28, 1997.

BARROS, R. M. L., BREZIKOFER, R., LEITE, N. J. & FIGUEROA, P.J.: Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise tridimensional de movimentos humanos. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, vol. 15, n. 1-2, 79-86, 1999.

BANGSBO, J., LINDQUIST,F. Comparison of Various Exercise Tests with Endurance Performance during Soccer in Professional Players. **International Journal Sports Medicine**. Vol 13, n 2, p 125-132, 1992.

CAVANAGH, P.R. **Biomechanics of distance running**. Champaign: Human Kinetics Books, 1990, 362p.

COXETER, H. S. M. **Introduction to geometry**. New York: John Wiley & Sons, 1969.

CUNHA, S.A. **Metodologia para a suavização de dados biomecânicos por função não paramétrica ponderada local robusta.** Tese de Doutorado - Faculdade de Educação Física - UNICAMP - Campinas, 1998.

CUNHA, S.A.; BARROS, R.; LIMA FILHO, E. C.; BREZIKOFER, R. Methodology for graphical analysis of soccer kick using spherical coordinates of the lower limb. In: Spinks W (Ed). **Science and Football IV.** London: Routledge. p.8 – 15, 2002.

CUNHA, S.A; XIMENES, J.M; MAGALHÃES Jr, W.J Análise do Posicionamento do Segmento Inferior em Dois Tipos de Chute no Futebol: Dados Preliminares. In: **II Congresso Internacional de Educação Física e Motricidade Humana e VIII Simpósio Paulista de Educação Física.**, Rio Claro, 2001.

CUNHA, S.A; XIMENES, J.M; MAGALHÃES Jr, W.J; LIMA F, E.C Metodologia para a determinação de padrões de chutes no futebol a partir de projeções estereográficas. In: **Congresso Brasileiro de Biomecânica.** IX, Gramado, p 59-63, 2001.

DIENER, H.C., BACHIER, M., GUSCHBAUER, B., THOMAS C., DICHGANS, J. The coordination of posture and voluntary movement in patients with hemiparesis. **Journal of Neurology**, v.240, p.161-7, 1993.

ELLIOTT, B.C., BLOOMFIELD, J., DAVIES, C.M. Development of the Punt Kick: A Cinematographic Analysis. ***Journal of Human Movement Studies***, vol 6, p 142-150, 1980.

FOLEY, C.D., QUANBURY, A.O., STEINKE, T. Kinematics of normal child locomotion – a statistical study based on TV data. ***Journal of Biomechanics***, New York, v.12, n.1, p.1-8, 1979

GREEN, H. J. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. ***Journal of Sports Science***. n 15, p 247-256, 1997.

HAY, J.G. ***Biomecânica das Técnicas Desportivas***. 2ed. Rio de Janeiro: Ed. Interamericana, p 02-14 , 1981.

KAUFMAN, L., ROUSSEUW, P. ***Finding groups in data: an introduction to cluster analysis***. New York:John Wiley & Sons, 1990.

LEES, A. NOLAN, L. The biomechanics of soccer: a review. ***Journal of Sports Science***, v.16, n.4, p.211-234, 1998.

LEVANON, J., DAPENA, J. Comparison of the Kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. ***Medicine & Science in Sports & Exercise***. Vol 30. N 6. Pg.917-927.1998

MATSUSHIGUE, K. A. **Relação das capacidades aeróbia e anaeróbia alática com a manutenção do desempenho no "ataque" do voleibol.**

Tese de Mestrado apresentada à Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo. 139p, 1996.

McLEAN, B. D., TUMILTY, D. McA. Left-rigth asymmetry in two types of soccer kick. **British Sport Medicine**. Vol 27. N 4 pg 260-262. 1993

MOGNONI, P., NARICI, M. V., SIRTORI, M. D., LORENZELLI, F. Isokinetic torques and kicking maximal ball velocity in young soccer player. The **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**. Vol 34. N 4. pg 357-361. 1994

OLNEY, S.J. New directions for rehabilitation of persons with stroke. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v.3, p.23, 1998.

PEDERSEN, J., LÖNN, J., HELSTRÔM, F., DJUPSJÔBACKA, M., JOHANSSON, H. Localized muscle fatigue decrease the acuity of the movement sense in the human shoulder. **Medicine and Science in Sports and Exercise**.

PUTMAN, C. A. Interaction between segments during a kicking motion. In: **Biomechanics VIII –B** (ed: H. Matsui e K. Kobayashi). Champagn: Human Publishers, pg695-700,1983

REILLY, T. Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of Sports Science*. n 15, pp 257-263, 1997.

TEGTBUR, U., MARTIN, W., BUSSE, BRAUMANN, K. M. Estimation of an individual equilibrium between lactate production in catabolism during exercise. *Medicine and Science in Sport and Exercise*. vol 25 (5), 620-627, 1993.

TEIXEIRA, L. A. Kinematics of kicking as a function of different sources of constraint on accuracy. *Journal of Sports Medicine*, v. 88, p. 785-9, 1999.

VALETA, L. N., CUNHA, S. A. Análise biomecânica do pé de apoio do chute no futebol. *Revista Motriz*. Volume 5. Número1. Junho. pg 93. 1999.

WINTER, D. A. *Biomechanics of Human Movement*. New York: John Wiley and Sons, 1979, 202p.

ABSTRACT

Defining a sports movement pattern is an important factor to help Physical Education and Sports professionals to understand and to intervene in the teaching and training of this phenomenon. The Kinematics is a Biomechanics' area that has enough tools to quantify a movement, does not matter his complexity. The purpose of this study was to have a great understanding of the lower limb behavior in the soccer kick, comparing the kinematic patterns of the thigh, shank and foot segments in soccer practitioners and non-practitioners in the rest and exhaustion situation. Ten soccer regular practitioners subjects and ten soccer non-practitioners subjects participated in this study. Anaerobic threshold was calculated through TEGTBUR test. In a rest situation, four video cameras (120 Hz) recorded each subject performing five free kicks to goal simulating a real situation of the game. After that they were induced to exhaustion condition from individual anaerobic threshold and performed more five free kicks. The images were transfer to computer and the kinematics patterns were define through the stereographic projection curves of each segment and they were compared between the groups through the cluster analysis. Significant differences between the practitioners and non-practitioners groups in both situation (rest

and exhaustion) of the thigh, shank and foot segments were found, with the greatest differences appearing in the foot segment. However, comparing the different situations inside the groups, no significant differences were found. According with this data we can conclude that there is a difference in the movement performance between soccer practitioners and non-practitioners subjects in the segments behavior analyzed, and these differences can be measured and compared. Furthermore it's possible to detect where these differences occur most. The results also oppose the hypothesis that this kind of fatigue can cause deficiency in the movement performance.

KEY WORDS: kinematics patterns, soccer, biomechanics

APÊNDICE 1

Termo de concordância

TERMO DE CONCORDÂNCIA

Estou ciente de estar participando de um projeto de pesquisa do programa de pós-graduação em Ciência da Motricidade Humana do Departamento de Educação Física do Instituto de Biociências da UNESP – Rio Claro, desenvolvido por Walter Jesus de Magalhães Junior , sob orientação do Prf. Dr. Sergio Augusto Cunha.

Concordo com as condutas adotadas e que estas sejam registradas para efeito de pesquisa científica, podendo ser divulgadas, desde que seja resguardada minha privacidade. Tenho conhecimento de que os métodos utilizados não trazem prejuízo à minha saúde e, caso desejar, posso retirar-me do estudo a qualquer momento.

Por meio deste, comprometo-me a participar do experimento de forma a colaborar com o bom desempenho do trabalho científico.

Rio Claro, _____ de _____ de _____

Participante

Walter Jesus de M. Junior

APÊNDICE 2

Tempo do tiro, frequência cardíaca e concentrações de lactato do grupo **GP**
no teste de limiar anaeróbio

Tabela 1 – Tempo do tiro, frequência cardíaca e concentrações de lactato do grupo **GP** no teste de limiar anaeróbio

GP []lac.	GP1	GP2	GP3	GP4	GP5	GP6	GP7	GP8	GP9	GP10
Tempo Tiro 250 m	28s 54	27s 74	30s 41	28s 39	27s 97	27s 78	30s 18	26s 16	27s 74	26s 40
bmp tiro 250 m	178	197	175	170	188	163	183	167	197	180
1min bmp [] lac	151 6.77	156 4.99	171 5.64	137 7.20	144 7.81	147 5.88	171 6.23	156 6.44	156 5.19	129 6.04
3min bmp [] lac	129 11.80	134 7.76	143 8.85	116 7.37	128 9.72	130 6.19	144 8.17	134 8.33	134 7.01	105 6.51
5min bmp [] lac	112 12.77	129 8.20	124 10.67	111 8.50	116 11.54	115 6.38	122 8.28	122 8.75	129 7.58	103 6.69
7min bmp [] lac	107 13.54	147 10.06	111 11.46	107 9.20	116 12.41	110 6.16	134 10.27	122 10.07	147 7.24	99 6.68
1ª vel bmp [] lac	176 13.89	197 10.49	163 11.80	162 7.81	174 8.85	183 5.92	178 7.66	175 9.62	197 6.77	167 7.36
2ª vel bmp [] lac	185 12.50	204 10.84	212 11.28	173 6.16	190 7.90	190 5.73	188 4.22	182 9.18	204 7.12	176 7.62
3ª vel bmp [] lac	188 11.37		192 12.06	180 5.29	193 7.90	197 6.65	191 8.87	181 10.59		170 8.84
4ª vel bmp [] lac	186 11.72			180 5.64	215 9.72	198 7.23	198 9.32			
5ª vel bmp [] lac				195 6.42						

APÊNDICE 3

Velocidades do limiar e concentrações de lactato do grupo **GP** durante as filmagens dos chutes

Tabela 2 – Velocidades do limiar e concentrações de lactato do grupo **GP** durante as filmagens dos chutes

	GP1	GP2	GP3	GP4	GP5	GP6	GP7	GP8	GP9	GP10
Vel limiar Km/h	13,4	10,3	13,3	13,3	12,2	12,4	12,3	10,4	10,4	12,2
[] Repouso	1.87	0.52	1.61	1.38	1.27	0.52	0.60	1.12	1.30	0.78
[] lactato 1	6.96	3.55	5.02	2.95	5.02	4.77	2.51	3.03	5.12	2.64
[] lactato 2	7.69	6.07	8.41	4.94	6.14	7.63	3.47	5.72	10.42	4.77
[] lactato 3	10.40	8.07	11.62	5.72	9.79	13.45	6.94	7.63	15.10	5.81
[] lactato 4	10.92			8.59	10.32	9.98	7.81			7.55

APÊNDICE 4

Tempo do tiro, frequência cardíaca e concentrações de lactato do grupo **GN** no teste de limiar anaeróbio

Tabela 3 – Tempo do tiro, frequência cardíaca e concentrações de lactato do grupo **GN** no teste de limiar anaeróbio

GN	GN1	GN2	GN3	GN4	GN5	GN6	GN7	GN8	GN9	GN10
[]lac.										
Tempo tiro 250 m	31s 63	29s 52	29s 59	28s 56	32s 28	32s 63	29s 29	29s 97	30s 60	31s 56
bmp tiro 250 m	189	220	164	182	183	164	236	178	190	223
1min bmp	175	167	140	176	134	121	155	150	136	141
[]lac	4.71	6.70	5.55	6.24	3.49	7.56	8.1	10.65	3.93	6.3
3min bmp	144	138	128	100	89	120	106	111	116	132
[]lac	8.24	11.92	9.00	9.63	6.80	9.69	10.54	13.11	9.57	11.34
5min bmp	136	136	123	109	77	115	92	106	112	117
[]lac	10.85	13.24	10.92	10.32	6.53	11.34	13.05	13.53	10.44	2.63
7min bmp	136	120	124	101	91	115	72	111	111	131
[]lac	11.71	13.98	11.22	11.58	6.41	12.13	13.32	15.21	12.24	13.35
1ª vel bmp	172	175	110	170	168	184	114	167	183	169
[]lac	13.59	12.64	8.34	9.63	4.59	10.01	13.62	11.43	11.76	13.89
2ª vel bmp	193	214	163	177	177	191	114	170	191	176
[]lac	13.94	12.76	6.57	7.53	3.46	10.09	11.37	9.99	6.06	13.11
3ª vel bmp		178	165	181	184	189	115	178	194	183
[]lac		14.76	4.80	8.79	4.42	10.24	11.01	10.89	8.71	11.85
4ª vel bmp			177		186	196	111	180	204	172
[]lac			5.16		5.49	12.07	11.61	12.24	9.21	14.1
5ª vel bmp			184		188	190		179	196	
[]lac			7.38		8.23	12.97		15.72	9.72	

APÊNDICE 5

Velocidades do limiar e concentrações de lactato do grupo **GN** durante as filmagens dos chutes

Tabela 4 – Velocidades do limiar e concentrações de lactato do grupo **GN** durante as filmagens dos chutes

	GN1	GN2	GN3	GN4	GN5	GN6	GN7	GN8	GN9	GN10
Vel limiar Km/h	10,4	10	13,3	13,3	13,8	10,6	11,6	11,3	11,3	11,6
[] Repouso	1.00	1.02	1.32	1.07	2.91	1.35	1.05	1.92	1.29	1.29
[] lactato 1	5.25	4.77	5.06	3.55	4.54	3.87	3.87	3.54	3.86	3.96
[] lactato 2	5.52	8.07	6.13	6,43	7.35	7.76	6.32	5.22	6.42	5.72
[] lactato 3	7.89	10.94	8.55	8,26	9.21	10.53	10.76	8.01	7.47	10.28
[] lactato 4							11.19	8.82		12.78

APÊNDICE 6

Tempos e velocidades para determinação do limiar anaeróbio individual

Tabela 5 – Tempos e velocidades para determinação do limiar anaeróbio

		individual							
m/min	Km/h	100	200	300	400	500	600	700	800
353	21,2	0:17	0:34	0:51	1:08	1:25	1:42	1:59	2:16
333	20	0:18	0:36	0:54	1:12	1:30	1:48	2:06	2:24
316	18,9	0:19	0:38	0:57	1:16	1:35	1:54	2:13	2:32
300	18	0:20	0:40	1:00	1:20	1:40	2:00	2:20	2:40
286	17,1	0:21	0:42	1:03	1:24	1:45	2:06	2:27	2:48
273	16,4	0:22	0:44	1:06	1:28	1:50	2:12	2:34	2:56
261	15,7	0:23	0:46	1:09	1:32	1:55	2:18	2:41	3:04
250	15	0:24	0:48	1:12	1:36	2:00	2:24	2:48	3:12
240	14,4	0:25	0:50	1:15	1:40	2:05	2:30	2:55	3:20
231	13,8	0:26	0:52	1:18	1:44	2:10	2:36	3:02	3:28
222	13,3	0:27	0:54	1:21	1:48	2:15	2:42	3:09	3:36
214	12,9	0:28	0:56	1:24	1:52	2:20	2:48	3:16	3:44
207	12,4	0:29	0:58	1:27	1:56	2:25	2:54	3:23	3:52
200	12	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00
194	11,6	0:31	1:02	1:33	2:04	2:35	3:06	3:37	4:08
188	11,3	0:32	1:04	1:36	2:08	2:40	3:12	3:44	4:16
182	10,9	0:33	1:06	1:39	2:12	2:45	3:18	3:51	4:24
176	10,6	0:34	1:08	1:42	2:16	2:50	3:24	3:58	4:32
171	10,3	0:35	1:10	1:45	2:20	2:55	3:30	4:05	4:40
167	10	0:36	1:12	1:48	2:24	3:00	3:36	4:12	4:48
162	9,7	0:37	1:14	1:51	2:28	3:05	3:42	4:19	4:56
158	9,5	0:38	1:16	1:54	2:32	3:10	3:48	4:26	5:04
154	9,2	0:39	1:18	1:57	2:36	3:15	3:54	4:33	5:12
150	9	0:40	1:20	2:00	2:40	3:20	4:00	4:40	5:20
146	8,8	0:41	1:22	2:03	2:44	3:25	4:06	4:47	5:28
143	8,6	0:42	1:24	2:06	2:48	3:30	4:12	4:54	5:36