

FREQÜÊNCIA DE AMOSTRAGEM E FILTRAGEM NA CINEMÁTICA

Victor H.A. Okazaki^{1,2,3}, Luis A.Teixeira², André L.F.Rodacki³

¹Centro de Estudos do Movimento Humano – CEMOVH – Curitiba - PR.

²Laboratório Sistemas Motores Humanos – Universidade de São Paulo – USP – São Paulo - SP.

³Centro de Estudos do Comportamento Motor – Universidade Federal do Paraná – UFPR – Curitiba - PR.

Resumo: O objetivo do estudo foi analisar o efeito da frequência de amostragem e da intensidade do filtro na análise cinemática. Para tal, um sinal criado foi manipulado através da redução da frequência de amostragem (200 Hz, 100 Hz, 50 Hz e 25 Hz) e da filtragem com diferentes intensidades (12 Hz, 10 Hz, 8 Hz, 6 Hz, 4 Hz e 2 Hz) gerando outros sinais. Estes sinais manipulados foram normalizados e analisados através de estatística descritiva de médias e de desvios-padrão. A frequência de amostragem demonstrou uma relação direta com a intensidade do filtro. Ou seja, quanto maior a frequência de amostragem, mais intenso pode ser a intensidade do filtro. Por outro lado, quanto menor a frequência de amostragem, menos intenso deve ser o filtro para que não sejam atenuados dados pertencentes ao sinal.
Palavras Chave: Frequência de Amostragem, Filtragem, Análise Cinemática.

*Abstract: The aim of this study was to analyze the sample frequency and the filter intensity in kinematics analysis. A created signal was manipulated by reducing the sample frequency (200 Hz, 100 Hz, 50 Hz e 25 Hz) and filtering with different intensities (12 Hz, 10 Hz, 8 Hz, 6 Hz, 4 Hz e 2 Hz) generating other signals. These manipulated signals were normalized and analyzed through descriptive statistics of mean and standard deviate. Sample frequency showed a straight relationship with filter intensity. In other words, as sample frequency increase, more intense may be the filter. On the other hand, as sample frequency decrease, less intense should be the filter to don't lose data in the signal.
Keywords: Frequency Sample, Filtering, Kinematics Analysis.*

INTRODUÇÃO

A cinemática é um dos instrumentos mais utilizados na biomecânica, pois permite a descrição espaço-temporal do movimento. Todavia, alguns cuidados devem ser tomados na condução da análise cinemática. Por exemplo, movimentos rápidos devem ser analisados com câmeras de alta frequência de amostragem. Isto, para que parte da informação do movimento não seja perdida durante sua realização [1]. Todavia, poucos estudos procuraram analisar este efeito da frequência de amostragem na análise cinemática [2].

Outro fator capaz de comprometer a análise cinemática é a quantidade de ruído nos sinais [3]. Para atenuar estes ruídos, técnicas matemáticas, conhecidas como filtragem, são utilizadas [1]. Contudo, filtros intensos podem prejudicar a integridade do sinal, onde parte do sinal é atenuada junto com o ruído. Ao passo que,

filtros com menor intensidade podem manter parte do ruído no sinal. Assim, a escolha da intensidade do filtro também é fator determinante na integridade dos dados e, conseqüentemente, da análise cinemática. Entretanto, ainda não é completamente conhecida a interação entre o efeito da intensidade do filtro e da frequência de amostragem na cinemática.

Com propósito de abordar estas questões, este estudo objetivou analisar o efeito da frequência de amostragem e da intensidade do filtro na cinemática.

MATERIAIS E MÉTODOS

Procedimentos Experimentais

Um sinal S1 com amostragem de 200 Hz foi gerado para representar um deslocamento angular

qualquer. Ruídos aleatórios foram adicionados ao sinal S1, gerando o sinal R1 (figura 1).

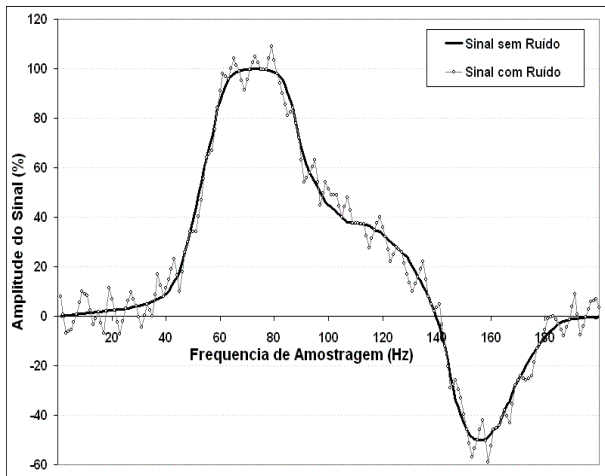


Figura 1 – Sinal sem ruído (S1) e com ruído (R1).

Para manipular a amostragem do sinal com 200 Hz, foram retiradas as informações (quadros) intermediárias a cada 2Hz para derivar um sinal com 100 Hz (figura 02). O mesmo procedimento foi utilizado para derivar os outros sinais com 50 Hz e 25 Hz (figura 03).

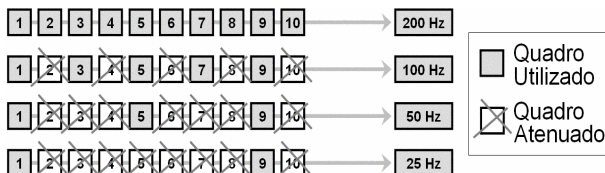


Figura 2 – Manipulação da Amostragem do sinal.

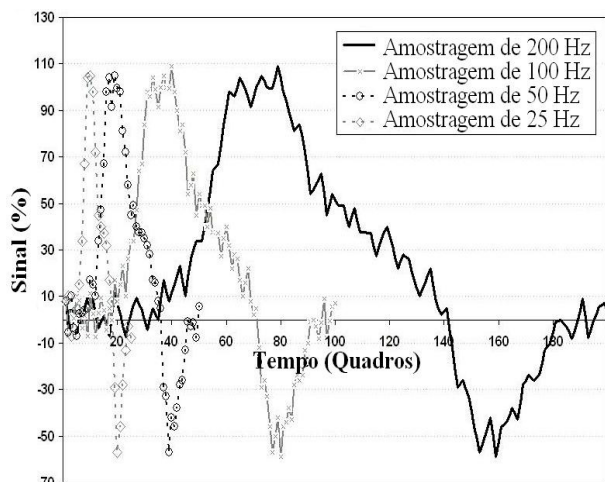


Figura 3 – Sinais criados sem normalização.

O filtro passa-baixa do tipo *Butterworth* de quarta ordem foi utilizado para atenuar os ruídos nos sinais [4,5]. Foram utilizadas freqüências de corte de 12 Hz, 10 Hz, 8 Hz, 6 Hz, 4 Hz e 2 Hz, para filtrar os sinais R1 com as diferentes freqüências de amostragem. Após o procedimento de filtragem, os sinais foram normalizados em relação ao tempo através de uma função *Spline*.

O maior e o menor valor foram utilizados para comparar a perda de sinal em função da amostragem e filtragem. A raiz do erro médio quadrático (resíduos) foi calculada nos sinais filtrados em função do sinal S1. A menor quantidade de resíduos demonstra o melhor ajuste entre o sinal filtrado e o sinal S1. Assim, foi possível verificar a melhor intensidade do filtro para cada freqüência de amostragem (200 Hz, 100 Hz, 50 Hz e 25 Hz).

RESULTADOS & DISCUSSÃO

À medida que a freqüência de amostragem diminuiu, perda de sinal ocorreu. Este efeito de perda no sinal foi magnificado quando o sinal foi filtrado com maior intensidade (tabela 1).

Os sinais amostrados com 200 Hz e 100 Hz apresentaram os maiores e menores valores de deslocamento próximos ao sinal sem ruído original S1. Apenas quando estes sinais foram filtrados com 2 Hz (filtro mais intenso), houve diferença nos menores valores acima de 5 %, em relação ao sinal S1.

A amostragem de 50 Hz apresentou perda superior a 10 % no maior valor quando foi filtrado com freqüências de corte inferiores a 4 Hz. Entretanto, perda menor que 5 % no menor valor foram encontradas em freqüências de corte inferiores a 8 Hz no sinal amostrado com 50 Hz.

O sinal com amostragem de 25 Hz apresentou as maiores alterações em função da aplicação dos filtros. A menor intensidade de filtro (frequência de corte de 12 Hz) provocou alterações superiores a 7% no menor valor do sinal amostrado com 25 Hz. Quando o sinal de 25 Hz foi filtrado com frequências de corte menores que 10 Hz, perdas superiores a 5 %, em relação ao sinal S1, foram verificadas.

Tabela 1: Maior e menor valor do sinal em função da amostragem e da intensidade do filtro.

Filtros	Frequência de Amostragem			
	200 Hz	100 Hz	50 Hz	25 Hz
Maiores Valores				
12 Hz	104.64	102.58	102.07	98.8
10 Hz	103.88	102.2	101.52	93.58
8 Hz	102.98	102.34	99.61	86.87
6 Hz	102.53	102.54	95.12	77.22
4 Hz	102.31	100.26	85.97	59.78
2 Hz	100.24	87.02	61.43	46.58
Menores Valores				
12 Hz	-53.23	-51.14	-47.05	-41.34
10 Hz	-52.6	-50.85	-45.42	-39.19
8 Hz	-51.85	-50.43	-42.86	-38.86
6 Hz	-50.94	-49.27	-38.35	-33.6
4 Hz	-50.39	-45.35	-30.96	-17.59
2 Hz	-45.29	-32.66	-13.69	21.42

O perfil dos sinais também foi analisado de forma qualitativa, pois tanto a amostragem quanto o filtro tem efeito em todo o sinal. A figura 4 expressa os sinais amostrados de 200 Hz, 100 Hz, 50 Hz e 25 Hz, filtrados com frequências de corte de 10 Hz, 6 Hz e 2 Hz.

Apesar da robustez do sinal amostrado com 200 Hz sobre o procedimento de filtragem, ruídos

podem ser verificados através das irregularidades no perfil do sinal quando filtros menos intensos foram aplicados (até 6 Hz). Entretanto, a maior parte dos ruídos parece ter sido atenuada, mesmo nos filtros menos intensos, nos sinais amostrados com 100 Hz e 50 Hz. Assim, quando a intensidade do filtro destes sinais aumentou, a mudança em seu perfil foi devido à perda de sinal.

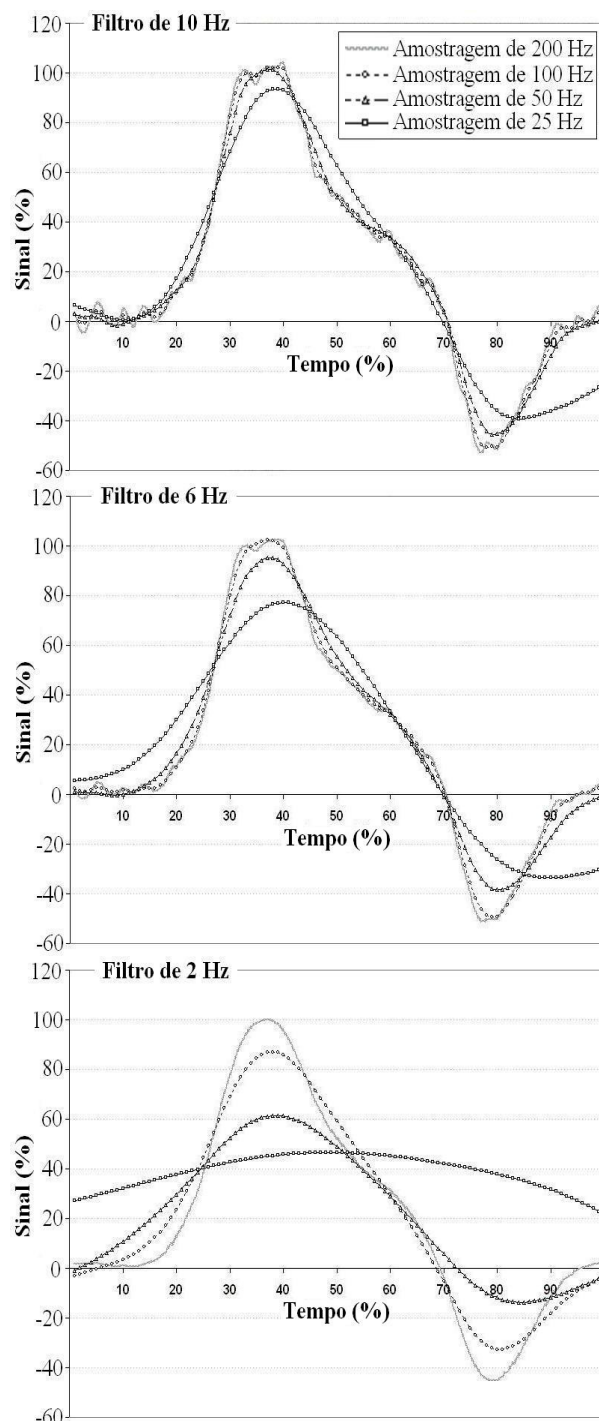


Figura 4 – Manipulação da Amostragem do sinal.

O sinal amostrado com apenas 25 Hz demonstrou grande perda de sinal, mesmo nas menores intensidades de filtro. Quando a intensidade do filtro é aumentada, ocorre uma descaracterização do perfil do sinal amostrado com 25 Hz, em relação ao sinal original S1.

A análise da raiz do erro médio quadrático foi realizada em função da frequência de corte do filtro. Esta análise possibilitou determinar o melhor ajuste entre os sinais com diferentes amostragens, em função da intensidade de filtro utilizada. A figura 5 apresenta esta relação para cada sinal amostrado, onde as figuras geométricas cheias (pintadas com o interior preto), apontam a frequência de corte que apresentou melhor ajuste entre o sinal amostrado filtrado e o sinal original S1.

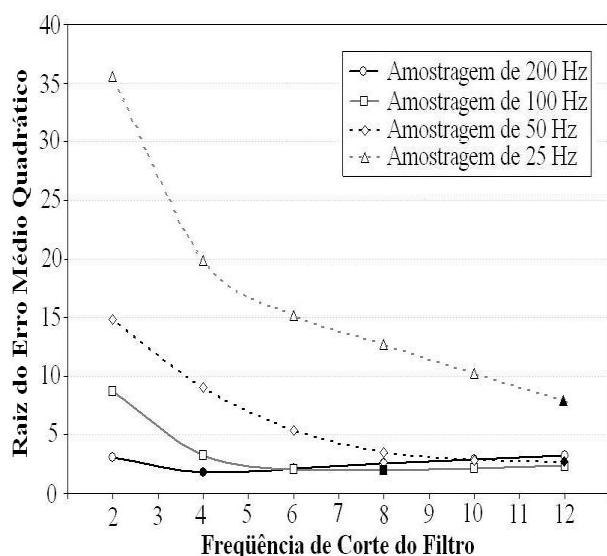


Figura 5 – Manipulação da Amostragem do sinal.

O sinal amostrado com 200 Hz demonstrou melhor ajuste quando foi filtrado com frequência de corte de 4 Hz. A amostragem de 100 Hz seria filtrada mais propriamente através de uma frequência de corte de 8 Hz. O sinal com amostragem de 50 Hz apresentou melhor ajuste ao sinal S1 quando filtrado com 12 Hz. Entretanto, o

sinal amostrado com 25 Hz aponta que a magnitude da raiz do erro médio quadrático já é alta mesmo nas menores intensidades de filtro. Assim, mesmo que menores intensidades de filtro sejam aplicadas, em função da pequena amostragem do sinal, perdas de informações ocorreram no sinal amostrado com 25 Hz.

CONCLUSÃO

A diminuição da amostragem do sinal reduz a quantidade de informação sobre o fenômeno analisado. Isto traz uma importante implicação na análise de movimentos rápidos (balísticos). Movimentos balísticos que não são analisados com frequência de amostragem apropriada, perdem informação no sinal como ocorreu com o sinal de 25 Hz. Entretanto, lembramos que este estudo analisou um sinal tratado como um deslocamento angular. Quando as derivadas de velocidade e de aceleração são calculadas, tanto o efeito da amostragem quanto do filtro são magnificados [2]. Desta forma, deve-se ter cuidado para que a amostragem e a filtragem sejam adequadas para cada variável derivada para não haver perda significativa no sinal.

Uma relação direta entre amostragem e intensidade de filtragem foi verificada. À medida que a frequência de amostragem diminui, a intensidade do filtro também deve diminuir. Pois, quando frequências de amostragem muito baixas são utilizadas para representar um sinal, grandes perdas de informação ocorrem em função da filtragem intensa. Porém, quando a amostragem do sinal é aumentada, filtros mais intensos devem ser aplicados, uma vez que filtros menos intensos não removeriam os ruídos do sinal.

AGRADECIMENTOS

Agrademos a CNPQ pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor no período de realização deste trabalho (proc. nº 141573/2006-6).

REFERÊNCIAS

- [1] Lees A. An optimised film analysis method based on finite difference techniques. *J. of Hum. Mov. Stud.* 1980; 6: 165-180.
- [2] Okazaki VHA, Rodacki ALF, Okazaki FHA. O efeito da frequência da amostragem e da intensidade do filtro na análise cinemática. *XVI SEFSUL; 2004.* 127-133.
- [3] Giakas G, Baltzopoulos VA Comparison of automatic filtering techniques applied to biomechanical walking data. *J. of Biomech.* 1997; 30(08): 851-855.
- [4] Nagamo A, Komura T, Himeno R, Fukashiro S. Optimal digital filter cutoff frequency of jumping kinematics evaluated through computer simulation. *Int. J. of Sport and Health Sci.* 2003; 01(01): 196-201.
- [5] Wood GA. Data smoothing and differentiation procedures in biomechanics. *Ex. and Sport Sci. Rev.* 1982; 10: 308-362.

e-mail:

vhaokazaki@gmail.com