

Compressão de Sinais de Eletromiografia de Superfície Usando H.264/AVC

Marcus Vinícius Chaffim Costa¹, Alexandre Zaghetto², Pedro de Azevedo Berger³, João Luiz Azevedo de Carvalho⁴, Adson Ferreira da Rocha⁵, Francisco Assis de Oliveira Nascimento⁶

^{1,2,4,5,6} Grupo de Processamento Digital de Sinais (GPDS), Departamento de Engenharia Elétrica (ENE), Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Brasil

³ Departamento de Ciência da Computação (CIC), Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Brasil

Resumo - Apresenta-se um algoritmo para compressão de sinais de eletromiografia de superfície (EMG-S) baseado no sistema de codificação H.264/AVC. Originalmente desenvolvido para compressão de seqüências de vídeo, mostra-se que o codificador H.264/AVC operando sobre uma única imagem pode também ser usado para comprimir sinais de EMG-S tanto de contrações isométricas quanto de atividades isotônicas. Para sinais de EMG-S adquiridos durante contrações isométricas, o algoritmo proposto conseguiu fatores de compressão de 75 a 90%, com uma RDP média entre 5,51 e 16,88%. Para sinais de EMG-S isotônicos, o algoritmo conseguiu fatores de compressão de 75 a 90%, com uma RDP média entre 5,59 e 16,39%. Os resultados da compressão usando o codificador H.264/AVC foram comparados com outros baseados em transformada de *wavelet*.

Palavras-chave: sinais eletromiográficos, compressão de sinais biomédicos, H.264/AVC.

Abstract - We present an algorithm for compression of surface electromyographic (S-EMG) signals based on the H.264/AVC coding system. Originally designed for compression of video sequences, we show that H.264/AVC codec applied on a single image can also be used to compress S-EMG signals for both isotonic and isometric contractions. For S-EMG signals acquired during isometric contractions, the proposed algorithm provided compression factors from 75 to 90%, with an average PRD of 5.51 to 16.88%. For isotonic S-EMG signals, the algorithm provided compression factors from 75 to 90%, with an average PRD of 5.59 to 16.39%. The compression results using the H.264/AVC coder were compared to those using algorithms based on the wavelet transform.

Key-words: electromyographic signals, biomedical signal compression, H.264/AVC.

Introdução

Os sinais de eletromiografia de superfície (EMG-S) são uma ferramenta importante para o estudo do comportamento dos músculos [1], [2]. Entretanto, o armazenamento e/ou a transmissão destes sinais é um problema, pois a quantidade de dados pode ser grande, dependendo da taxa de amostragem, precisão da amostra, número de canais e número de sujeitos, dentre outros fatores.

Várias técnicas foram propostas para a compressão de sinais biomédicos como o eletrocardiograma (ECG) [3], [4], [5] e o eletroencefalograma (EEG) [6]. No entanto, poucos métodos foram propostos para compressão de sinais de EMG.

Norris e Lovely [7] investigaram a compressão de EMG usando ADPCM (*Adaptive*

Differential Pulse Code Modulation). Guerrero e Maihes [8] compararam diferentes métodos baseados em predição linear e em transformadas ortogonais. Eles mostram que métodos baseados na transformada de *wavelets* têm desempenho melhor que outros métodos de compressão. O uso do algoritmo EZW (*Embedded Zero-Tree Wavelet*) também já foi proposto para a compressão de sinais de EMG [9], [10]. Mais recentemente, Berger *et al.* [11] propuseram um algoritmo para compressão de sinais de EMG usando a transformada de *wavelets* com um esquema para alocação dinâmica de bits, utilizando uma rede Kohonen. Em outro trabalho recente, Brechet *et al.* [12] usaram a DWPT (*Discrete Wavelet Packet Transform*) com otimização tanto da *wavelet* mãe quanto da base *wavelet*, seguida por um codificador EZW. O uso de métodos de

codificação de voz também já foi investigado [8], [13]. Carotti *et al.* [13] propuseram um esquema para compressão de sinais de EMG usando o codificador ACELP (*Algebraic Code Excited Linear Prediction*), e avaliaram os resultados por meio de diversas medidas espectrais e estatísticas.

Este trabalho apresenta um método para compressão de sinais eletromiográficos usando o algoritmo H.264/AVC. O H.264/AVC é o mais novo padrão para compressão de vídeo, publicado em 2003 pelo *Joint Video Team (JVT)*, um grupo formado pelo *ISO/IEC Joint Technical Committee 1, Subcommittee 29, Working Group 11* ou *Motion Picture Experts Group (MPEG)* e pelo *ITU Study Group 16, Question 6, Working Party 3* ou *Video Coding Experts Group (VCEG)*. Foi publicado sob a denominação *H.264* pela ITU-T e *MPEG-4 Part 10* pela ISO/IEC, mas também é chamado de *Advanced Video Coding (AVC)* [17].

O padrão já foi amplamente discutido na literatura [17], [18]. Muitas publicações ilustram o desempenho do H.264/AVC, comparando-o a outros codificadores de vídeo como o *MPEG-2* e o *H.263*. Todos os resultados apontam para um aumento de desempenho de, pelo menos, o dobro [19], [20].

Diferentemente do codificador de imagens JPEG2000, que já foi usado eficientemente para compressão de sinais de ECG [14], [15] e EMG [16], o codificador H.264/AVC, que foi originalmente proposto para compressão de vídeo, até então não havia sido utilizado para compressão de sinais de EMG. O método é demonstrado e avaliado quantitativamente na compressão de sinais de EMG medidos durante contrações isométricas e isotônicas.

Metodologia

1. Compressão de sinais de EMG usando H.264/AVC

A Figura 1 mostra o diagrama de blocos do esquema de codificação proposto. O método consiste em segmentar cada sinal de EMG em segmentos com 512 amostras cada, e depois arranjar esses segmentos como colunas em uma matriz bidimensional, a qual pode ser comprimida usando o algoritmo H.264/AVC.

O número de colunas da matriz bidimensional é definido pelo número de segmentos completos de 512 amostras. O último segmento (incompleto) geralmente representa um período pós-exercício. Assim, ele não contém informação importante e é simplesmente descartado. Cada coluna da matriz bidimensional é escalonada para a faixa dinâmica de 8 bits (0 a

255) e a seguir codificada usando o algoritmo H.264/AVC em modo intra, que será discutido na próxima subseção. O parâmetro de quantização variou de 1 a 50. Os parâmetros de escalonamento (valores globais de máximo e de mínimo do sinal) também são armazenados.

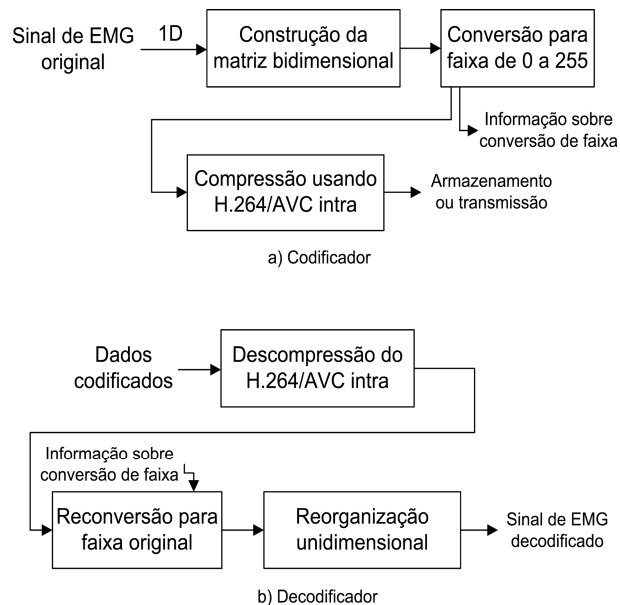


Figura 1 - Diagrama de blocos do algoritmo de compressão proposto.

Os dados codificados são a seguir reconstruídos usando-se o decodificador H.264/AVC e o sinal de EMG é então recuperado rearranjando as colunas da matriz de volta em um vetor unidimensional e escalonando o sinal de volta à sua faixa dinâmica original.

2. O modo Intra do H.264/AVC

Os elementos comuns à maioria dos padrões de codificação de vídeo estão presentes no H.264/AVC:

- Os quadros são processados em blocos;
- Cada bloco é composto por sinais de luminância e crominância;
- Estimativa e compensação de movimento;
- Transformada em bloco;
- Quantização escalar; e
- Codificação de entropia.

Uma das novidades que contribuem para o alto desempenho do H.264/AVC é a *predição intra*, que provê nove modos para blocos de luminância com tamanho 4×4 pixels, nove modos para blocos de luminância com tamanho 8×8 pixels, quatro modos para blocos de luminância com tamanho 16×16 pixels e quatro modos para blocos de crominância com tamanho 8×8 pixels.

De uma maneira geral, a predição intra reduz a redundância espacial aproveitando-se da correlação espacial existente entre macroblocos (blocos de 16x16 *pixel/s*) adjacentes. Outra novidade incorporada ao H.264/AVC é a Codificação Aritmética Binária Adaptativa Baseada em Contexto, que possibilita uma melhor codificação de entropia.

Se o H.264/AVC for ajustado para codificar apenas um único quadro de vídeo, ele irá operar exclusivamente no modo intra, comportando-se como um codificador de imagens estáticas. Apesar de não ter sido concebido para esse fim, o H.264/AVC é capaz de superar outros padrões considerados o estado-da-arte em compressão de imagens, como o JPEG2000 [20].

Muito provavelmente os avanços incorporados ao H.264/AVC irão influenciar no desenvolvimento de futuros padrões de codificação de imagens estáticas.

3. Protocolo de aquisição para contrações isométricas

Sinais de EMG de contrações isométricas foram obtidos em 4 voluntários saudáveis do sexo masculino, com $28,3 \pm 9,5$ anos de idade, $1,75 \pm 0,04$ m de altura, e $70,5 \pm 6,6$ kg de peso. Os sinais foram medidos no músculo bíceps braquial. No início do protocolo, a máxima contração voluntária (MCV) de cada sujeito foi determinada. Os sinais foram coletados durante contrações com 60% da MCV, com um ângulo de 90° entre o braço e o antebraço, e com o sujeito de pé. O protocolo foi repetido 5 vezes com cada voluntário, com um intervalo de 48 horas entre cada repetição. Um dos voluntários faltou a uma das sessões. Portanto, 19 sinais de EMG foram adquiridos ao todo.

4. Protocolo de aquisição para contrações isotônicas

Sinais de EMG foram obtidos durante contrações isotônicas (ciclismo) em 9 voluntários saudáveis (6 homens, 3 mulheres), com $24,4 \pm 4,3$ anos de idade. Todos os sujeitos apresentavam índice de massa corporal normal.

O sinal de EMG foi medido nos músculos vasto medial e vasto lateral, os quais são músculos da perna com elevada atividade eletromiográfica de superfície durante o exercício proposto. Antes de posicionar os eletrodos, a distância entre a porção lateral externa (PLE) da patela e a cabeça do fêmur (CF) foi medida, assim como a distância entre a porção lateral interna (PLI) e a cabeça do fêmur da coxa direita. Após

tricotomia, a pele foi limpa com álcool. Um eletrodo ativo foi usado para o músculo vasto lateral, posicionado a 1/5 da distância entre a PLE e a CF (medida a partir do joelho). Outro eletrodo ativo foi usado para o músculo vasto medial, a 1/4 da distância entre a PLI e a CF (também medida a partir do joelho).

A aquisição dos sinais foi feita com um eletromiógrafo comercial (Delsys, Bagnoli-2, Boston, MA, EUA). Esse equipamento usa eletrodos ativos com uma pré-amplificação de 10 V/V e banda passante de 20 Hz a 450 Hz. Os sinais foram amplificados com um ganho total de 1000 V/V e amostrados a 2 kHz usando um conversor A/D de 12 bits (National Instruments, PCI 6024E, Austin, TX, EUA). O software LabView (National Instruments, Austin, TX, EUA) foi usado para a aquisição dos sinais e o Matlab 6.5 (Mathworks, Inc., South Natick, MA, EUA) foi usado para o processamento digital dos sinais.

O exercício foi realizado usando 70% da potência máxima e 70% da velocidade máxima, até a exaustão, e foi precedido por um período de aquecimento com duração máxima de 4 minutos. Esse protocolo foi programado na instrumentação de uma bicicleta ergométrica (Ergo-Fit, Ergo Cycle 167, Pirmasens, Alemanha). Não foi realizada aquisição de sinais durante o aquecimento.

Ao todo, 18 sinais de EMG foram adquiridos (9 voluntários, 2 eletrodos).

Resultados

A qualidade de compressão foi avaliada comparando-se o sinal reconstruído com o sinal original. O desempenho do algoritmo de compressão foi medido por meio de dois critérios objetivos: o fator de compressão (FC) e a raiz quadrada da diferença média quadrática percentual (RDP). Esses são os dois critérios mais utilizados pela comunidade científica para avaliar algoritmos de compressão de sinais de EMG.

O fator de compressão é definido de acordo com a Equação (1):

$$FC(\%) = \frac{O_s - C_s}{O_s} \cdot 100 \quad (1)$$

onde, O_s é o número de bits necessários para armazenar os dados originais e C_s é o número de bits necessários para armazenar os dados codificados.

A RDP é definida de acordo com a Equação (2):

$$RDP(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} (x[n] - \hat{x}[n])^2}{\sum_{n=0}^{N-1} x^2[n]}} \cdot 100 \quad (2)$$

onde $x[n]$ é o sinal original, $\hat{x}[n]$ é o sinal reconstruído e N representa o número de amostras do sinal.

A Figura 2 mostra a RDP medida em função do FC, para todos os 19 sinais de EMG isométricos, bem como o resultado médio. Os resultados mostram que a qualidade diminui quando o fator de compressão aumenta. Aumentar o FC acima de 85% causa deterioração significativa do sinal decodificado.

A Figura 3 mostra o resultado da compressão do sinal de EMG adquirido durante atividades isotônicas. Observou-se um padrão similar, com fatores de compressão acima de 85% causando deterioração de sinal mais significativa.

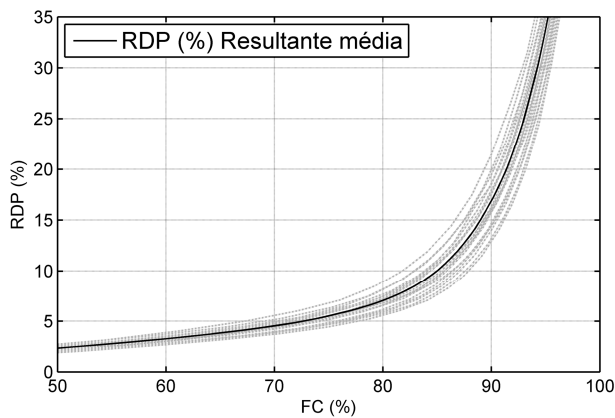


Figura 2 - RDP em função do fator de compressão para sinais de EMG medidos durante contrações isométricas.

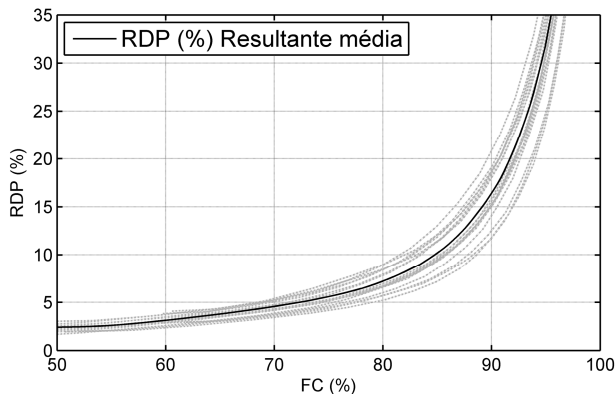


Figura 3 - RDP em função do fator de compressão para sinais de EMG medidos durante atividades isotônicas.

A Figura 4 ilustra a qualidade visual de um sinal isométrico reconstruído e a Figura 5 ilustra a qualidade visual de um sinal isotônico reconstruído. As 1500 amostras centrais dos sinais originais, reconstruídos e de erro são mostradas.

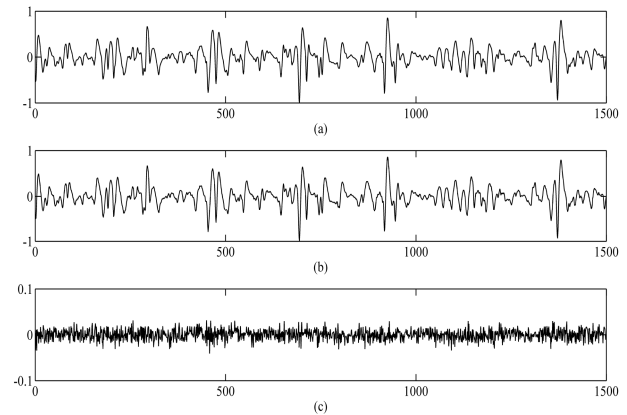


Figura 4 - Resultado representativo para um sinal de atividade muscular isométrica: (a) sinal de EMG original; (b) sinal de EMG reconstruído após compressão com FC de 75,79% (RDP de 5,32%); (c) erro de reconstrução. Note que a magnitude de (c) está ampliada em 10 vezes.

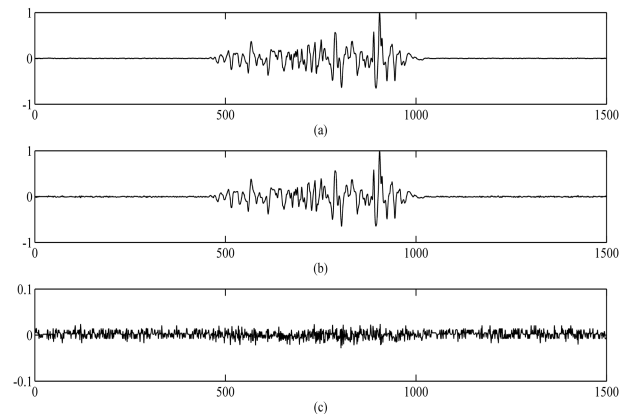


Figura 5 - Resultado representativo para um sinal de atividade muscular isotônica: (a) sinal de EMG original; (b) sinal de EMG reconstruído após compressão com FC de 75,11% (RDP de 6,59%); (c) erro de reconstrução. Note que a magnitude de (c) está ampliada em 10 vezes.

Discussão e Conclusões

A Tabela 1 mostra uma comparação entre os resultados obtidos para os sinais de contração isométrica usando o algoritmo proposto com os resultados obtidos por Norris *et al.* [10] e Berger *et al.* [11]. Comparado a ambos os métodos, o H.264/AVC ofereceu qualidade de reconstrução ligeiramente pior (RDP mais alto) para toda a faixa de fatores de compressão analisada.

A Tabela 2 apresenta uma comparação similar, mas para os sinais de EMG isotônicos. Os resultados obtidos com o H.264/AVC são significativamente melhores que os obtidos por Norris *et al.* para fatores de compressão de até 80%. Quando comparado ao algoritmo proposto por Berger *et al.*, o H.264/AVC oferece resultados

melhores para fatores de compressão iguais ou acima de 90%.

Tabela 1 – Comparação entre os resultados obtidos com o algoritmo proposto e os resultados da literatura, para a compressão de sinais de EMG medidos durante contrações isométricas.

FC (%)	Norris <i>et al.</i> – RDP (%)	Berger <i>et al.</i> – RDP (%)	H.264/AVC intra – RDP (%)
75	3,8	2,5	5,51
80	5	3,3	7,03
85	7,8	6,5	10,01
90	13	13	16,88

Tabela 2 – Comparação entre os resultados obtidos com o algoritmo proposto e os resultados da literatura, para a compressão de sinais de EMG medidos durante atividades musculares isotônicas.

FC (%)	Norris <i>et al.</i> – RDP (%)	Berger <i>et al.</i> – RDP (%)	H.264/AVC intra – RDP (%)
75	7,85	2,6	5,59
80	9	4,4	7,21
85	9,5	7,25	10,17
90	20	20	16,39

Norris *et al.* [10] e Berger *et al.* [11] usaram protocolos muito parecidos com os usados neste trabalho. Os três trabalhos usaram EMG de superfície, com resolução de 12 bits e taxa de amostragem de 2 kHz. Além disso, os três trabalhos usaram sinais isométricos adquiridos no músculo bíceps braquial.

No entanto, no que diz respeito aos sinais isotônicos, [10] e [11] utilizaram apenas sinais adquiridos no músculo vasto lateral, enquanto neste trabalho foram usados sinais tanto do músculo vasto lateral quanto do músculo vasto medial. Portanto, deve-se tomar cuidado ao comparar esses resultados. Além do mais, o protocolo de aquisição usado por Norris *et al.* não foi descrito em [10]. Assim, é possível que o nível de contração tenha sido diferente do utilizado neste trabalho, o que poderia resultar em um conjunto de sinais com características diferentes.

Em suma, este artigo apresentou uma metodologia para a compressão de sinais eletromiográficos de superfície usando um algoritmo popular para compressão de vídeo, porém aplicado a imagens estáticas, o H.264/AVC no modo intra.

O esquema de compressão foi avaliado em 19 sinais eletromiográficos medidos durante contrações isométricas e 18 sinais adquiridos durante atividades isotônicas. Os resultados mostraram que este esquema de codificação

oferece fatores de compressão de 75 a 90%, com RDP na faixa de 5,51 a 16,88% para sinais isométricos e 5,59 a 16,39% para sinais isotônicos.

Apesar do H.264/AVC ter sido desenvolvido para a compressão de vídeo, este trabalho mostrou que esse popular algoritmo também pode ser usado para a compressão de sinais eletromiográficos, com desempenho compatível ao de algoritmos propostos na literatura.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Dr. Jake Carvalho do Carmo (CENESP – UnB) e ao Dr. Marcelino Monteiro de Andrade (UnB) pelo apoio com os sinais de eletromiografia usados neste trabalho.

Este trabalho foi realizado em parte com apoio financeiro da CAPES e do CNPq, agências de fomento do Governo Federal Brasileiro.

Referências

- [1] Merletti R, Parker P. *Electromyography: Engineering and Noninvasive Applications*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2004.
- [2] Basmajian JV, De Luca CJ. *Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1985.
- [3] Sahraeian SME, Fatemizadeh E. Wavelet-based 2-D ECG data compression method using SPIHT and VQ coding, *The Int. Conf. on Computer as a Tool, EUROCON, 2007*, p. 133–137.
- [4] Lu Z, Kim YD, Pearlman AW. Wavelet compression of ECG signals by the set partitioning in hierarchical trees algorithm. *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*. vol. 47, no. 7, 2000, p. 849–856.
- [5] Hilton ML. Wavelet and wavelet packet compression of electrocardiograms. *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 44, 1997, p. 394–402.
- [6] Antoniol GL, Tonella P. EEG data compression techniques. *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 44, 1997, p. 105–114.
- [7] Norris JF, Lovely DF. Real-time compression of myoelectric data utilizing adaptive

- differential pulse code modulation. *Med Biol Eng Comput*, vol. 33, 1995, p. 629–635.
- [8] Guerrero A, Maihes C. On the choice of an electromyogram data compression. *Proc. 19th Annual Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine Biology Society*, 1997, p. 1558–1561.
- [9] Wellig P, Zhenlan C, Semling M, Moschytz GS. Electromyogram data compression using single-tree and modified zero-tree wavelet encoding. *Proc. 20th Annual. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine Biology Society*, 1998, p. 1303–1306.
- [10] Norris JA, Englehart K, Lovely DF. Steady-state and dynamic myoelectric signal compression using embedded zero-tree wavelets. *Proc. 23rd Annual. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine Biology Society*, 2001, p. 1879–1882.
- [11] Berger PA, Nascimento FAO, Carmo JC, da Rocha AF. Compression of EMG Signals with Wavelet Transform and Artificial Neural Networks. *Physiological Measurement*, vol 27, 2006, p. 457–465.
- [12] Brechet L, Lucas M-F, Doncarli C, Farina D. Compression of biomedical signals with mother wavelet optimization and best-basis wavelet packet selection. *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 54, no. 12, 2007, p. 2186–2192.
- [13] Carotti ESG, De Martin JC, Merletti R, Farina D. Compression of surface EMG signals with algebraic code excited linear prediction. *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Processing*, Toulouse, France, vol. 03, 2006, pp. 1148–1151.
- [14] Bilgin A, Marcellin MW, Altbach MI. Compression of Electrocardiogram Signals using JPEG2000. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*. vol. 49, no. 4, 2003, p. 833–840.
- [15] Chou H-H, Chen Y-J, Shiau Y-C, Kuo T-S. An effective and efficient compression algorithm for ECG signals with irregular periods. *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 53, no. 6, 2006, p. 1198–1205.
- [16] Costa MVC, Berger PA, Rocha AF, Carvalho JLA, Nascimento FAO. Compression of Electromyographic Signals Using Image Compression Techniques. *Proc. 30th Annual Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine Biology Society*, 2008, p. 2948–2951.
- [17] Richardson IEG. *H.264 and MPEG-4 video compression*. [S.l.]: Wiley, 2003.
- [18] Wiegand T, Sullivan GJ, Bjontegaard G, Luthra A. Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 7, 2003, p. 560–576.
- [19] Sullivan GJ, Topiwala P, Luthra A. The H.264/AVC Advanced Video Coding Standard: Overview and Introduction to the Fidelity Range Extensions. *Proceedings of SPIE Conference on Applications of Digital Image Processing XXVII, Special Session on Advances in the New Emerging Standard: H.264/AVC*, v. 5558, 2004, p. 53–74.
- [20] de Queiroz RL, Ortis RS, Zaghetto A, Fonseca TA. Fringe benefits of the H.264/AVC, *Proc. of Intl. Telecommunications Symposium*, 2006, p. 208-212.

Contato

Autor: Marcus Vinícius Chaffim Costa

Endereço: Grupo de Processamento Digital de Sinais (GPDS), Departamento de Engenharia Elétrica (ENE), Faculdade de Tecnologia (FT), Universidade de Brasília (UnB).

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília - DF, Brasil

CEP: 70919-970

E-mails: chaffim@gmail.com, chaffim@unb.br

Telefone: + 55 (61) 3307-2309 r: 237