

Francisco Gomes Soares Sanches Manso

Módulo remoto para ensaios de vibração

Belo Horizonte
30 de junho de 2019

Francisco Gomes Soares Sanches Manso

Módulo remoto para ensaios de vibração

Monografia apresentada durante o Seminário dos Trabalhos de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Eletricista

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
Escola de Engenharia
Kotchergerko Engenharia Ltda.

Orientador: Ricardo de Oliveira Duarte
Supervisor: Bruno Freitas Brant

Belo Horizonte
30 de junho de 2019

Resumo

Sumário

	Sumário	5
	Lista de ilustrações	6
1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1	Transdutores piezoelétricos	9
2.2	O filtro anti-aliasing e o teorema da amostragem	10
2.3	Conversor analógico-digital	12
	REFERÊNCIAS	15

Lista de ilustrações

Figura 1 – Condicionamento do sinal analógico	9
Figura 2 – Diagrama de interligação de um transdutor <i>IEPE</i>	10
Figura 3 – Exemplo de sinal sem <i>aliasing</i> amostrado à $250Hz$	11
Figura 4 – Exemplo de sinal com <i>aliasing</i> amostrado à $200Hz$	11
Figura 5 – Resposta em frequência de um filtro ideal	12
Figura 6 – Resposta em frequência de um filtro real	12

1 Introdução

A mineração no Brasil possui grande importância na economia atual do país e do mundo e é um dos setores em maior expansão. Atividades nessa área já representam em torno de 5% do PIB do país e geram mais de dois milhões de empregos diretos e indiretos.^[1]

Novas tecnologias vêm alavancando esse setor, buscando aumentar a eficiência de produção e transporte e o aproveitamento de resíduos para a transformação em insumos. A Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), por exemplo, desenvolve metodologias de calcificação dos resíduos da mineração, os tornando matéria-prima para a fabricação de produtos das áreas de construção civil. Esse reaproveitamento chega a proporcionar uma redução de até 40% no custo das obras.^[2]

O setor de mineração conta com diversas estruturas de grande porte em terminais portuários e ferrovias por todo o Brasil. A manutenção preditiva e o diagnóstico de falha são duas atividades de extrema importância no âmbito de possibilitar a segurança dos operadores, a redução de custos em bloqueios de produção por falhas e uma melhor modelagem da dinâmicas das estruturas utilizadas. Nesse sentido, diversas empresas da área baseiam suas atividades em três grandes pilares: a metodologia teórica de análise de estruturas, a capacidade de modelagem e simulação via *software* e um preciso e confiável ensaio de campo para a obtenção de dados.

Ensaio de campo de vibração e extensometria são comumente realizados utilizando equipamentos capazes de fazer aquisição de dados em tempo real de vários canais simultaneamente. Os ensaios de vibração, por exemplo, utilizam sensores piezoelétricos uniaxiais que são ligados em sistemas de aquisição, como o NI-9234 da National InstrumentsTM.

Os dados de vibração são obtidos por meio de sensores piezoelétricos com eletrônica integrada, conhecidos como sensores IEPE ou *Integrated Electronics Piezo-Electric*. Materiais piezoelétricos são cristais capazes de gerar uma tensão elétrica após os aplicar uma força mecânica. Os transdutores IEPE pré-amplificam esse sinal de forma a possibilitar a condução dos mesmos através de cabos coaxiais.

Tais ensaios são realizados em peneiras vibratórias de mineração, transportadores de correia e outras máquinas de áreas portuárias e ferroviárias.

2 Revisão Bibliográfica

No processo de amostragem de um sinal qualquer, deve-se filtrar o sinal com um filtro anti-*aliasing* e aplicar os ganhos necessários para adequar o sinal à faixa de leitura do conversor analógico-digital. Os processos são ilustrados abaixo.

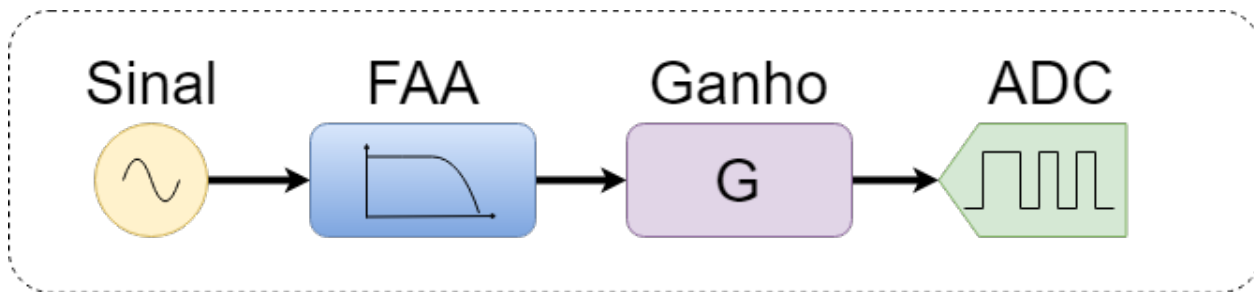


Figura 1 – Condicionamento do sinal analógico

A seguir, serão descritos cada parte que compõe este processo.

2.1 Transdutores piezoelétricos

Transdutores piezoelétricos são largamente utilizados para monitoramento industrial. Estes transdutores possuem uma eletrônica integrada que pré-amplifica e condiciona o sinal para melhor desempenho da medição. Os transdutores piezoelétricos com eletrônica integrada são denominados IEPE (*Integrated Electronics Piezo-Electric*). Entre os transdutores, ou medidores, do tipo IEPE mais comuns, encontram-se os transdutores de pressão e de aceleração.

Os medidores IEPE possuem variadas fichas técnicas, com diferentes faixas de alimentação, faixas de sinal de saída e tipos de sinal de saída. No caso dos medidores de aceleração com saída em tensão, os terminais de alimentação e de sinal de saída são compartilhados.

Os transdutores de aceleração necessitam ser alimentados por uma tensão entre 18V e 30V com uma corrente constante de polarização entre 2mA e 10mA, podendo variar de medidor para medidor. Para isso, utiliza-se uma fonte de tensão em série com uma fonte de corrente. Assim, o sinal de saída é a tensão imediatamente após a fonte de corrente. O esquemático abaixo ilustra o circuito elétrico equivalente da alimentação de um transdutor IEPE com saída em tensão.

A conversão do sinal de saída para a grandeza de interesse é dada por uma relação linear de tensão e da unidade da grandeza. Essa relação é denominada sensibilidade. Como exemplo, toma-se o transdutor IEPE AC102, que possui sensibilidade de 100mV/g. Assim, com um valor de fundo de escala de $\pm 50g$, têm-se variações no valor da tensão de saída de $\pm 5V$.^[3]

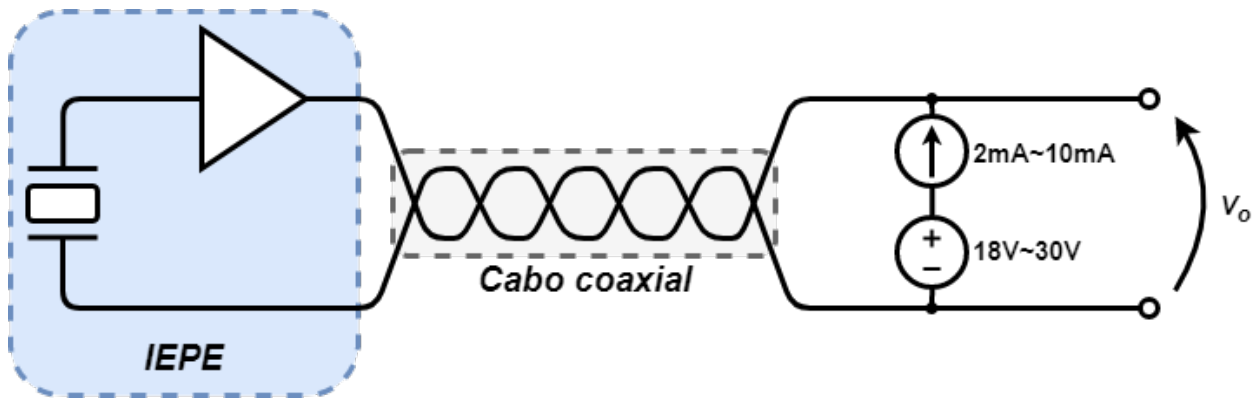


Figura 2 – Diagrama de interligação de um transdutor *IEPE*

2.2 O filtro anti-*aliasing* e o teorema da amostragem

Seja um sinal $S(t)$ com maior componente de frequência f_{max} . Segundo o Teorema da Amostragem, ou Teorema de *Nyquist*, esse sinal deve ser amostrado com uma frequência f_s tal que $f_s > 2f_{max}$. Caso contrário, o espectro de frequência irá sobrepor-se, impossibilitando a reconstrução correta do sinal no tempo. Esse fenômeno é denominado de *aliasing* e a frequência $2f_{max}$ é definida como frequência de *Nyquist*.^[4]

Como exemplo, assume-se o sinal $S(t) = 0,7\text{sen}(2\pi 50t) + \text{sen}(2\pi 120t)$. O sinal é amostrado com uma frequência $f_s = 250\text{Hz}$. Os gráficos do sinal original, do sinal amostrado e da FFT (*Fast Fourier Transform*), gerada a partir da aquisição do sinal na dada frequência de amostragem, são exibidos na Figura 3 e foram gerados através do *software* Scilab

Como a maior componente de frequência do sinal $S(t)$ é 120Hz , a frequência de *Nyquist* é 240Hz . Assim, a taxa de amostragem satisfaz o Teorema da Amostragem. Com isso possibilita-se uma correta visualização da FFT e da reconstrução do sinal no tempo.

Ao fazer uma segunda aquisição do mesmo sinal com uma taxa de amostragem $f_s = 200\text{Hz}$, obtém-se os gráficos exibidos na Figura 4. Como a frequência de amostragem é menor que a frequência de *Nyquist* para este sinal, ocorre *aliasing* e o sinal não é reconstruído corretamente. Esse erro também pode ser visto pela FFT, que apresenta frequências diferentes do sinal original.

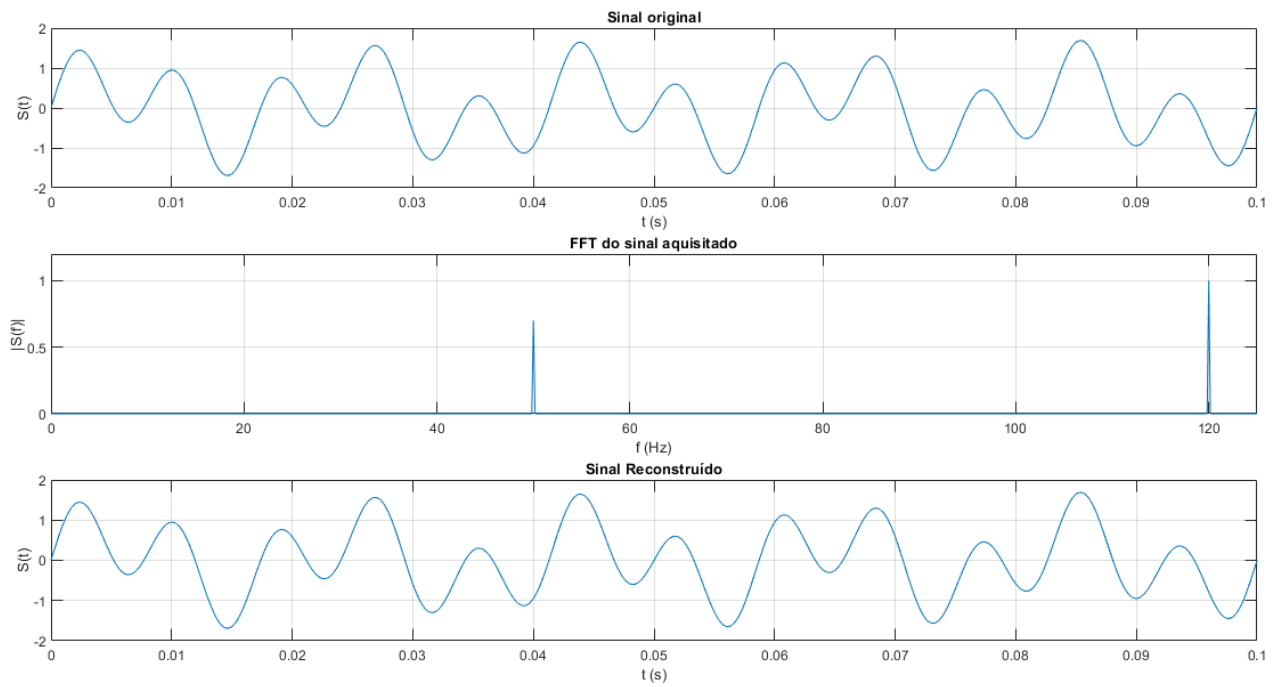


Figura 3 – Exemplo de sinal sem *aliasing* amostrado à $250Hz$

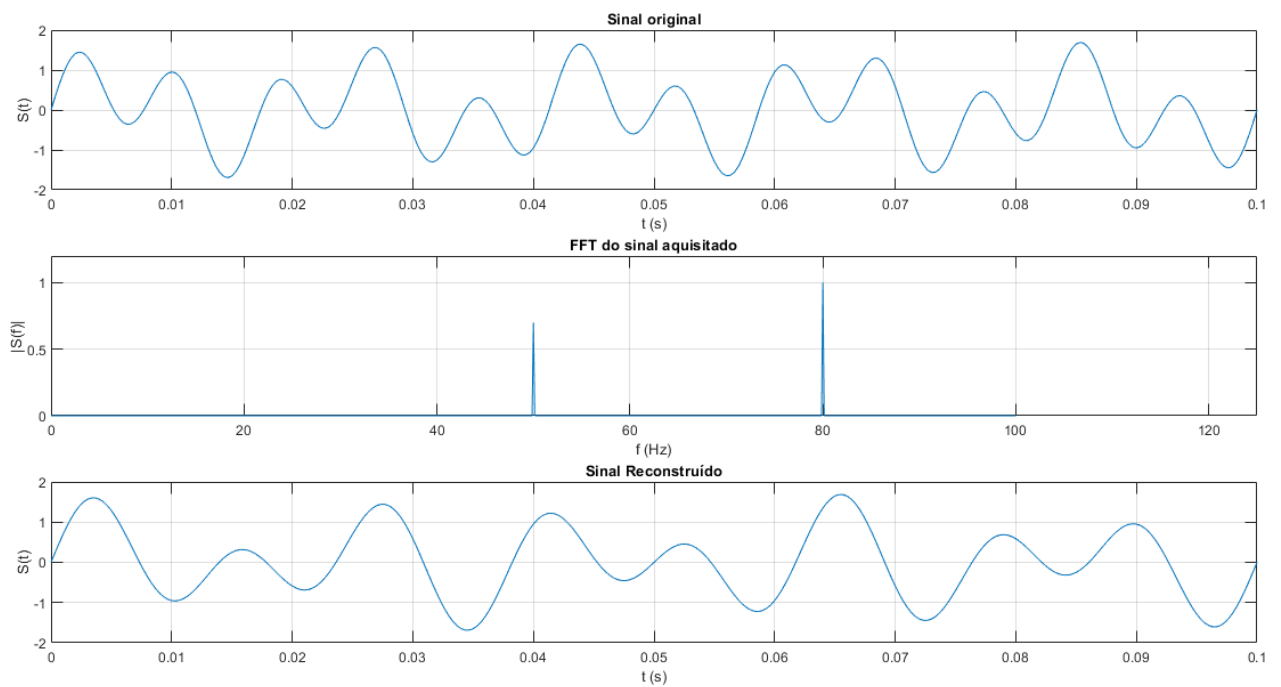


Figura 4 – Exemplo de sinal com *aliasing* amostrado à $200Hz$

O filtro anti-*aliasing* trata-se de um filtro passa-faixa ou passa-baixa. Como no projeto não há restrições com relação às baixas frequências, o filtro anti-*aliasing* deste projeto é um filtro passa-baixa. Um filtro passa-baixa ideal possui característica de módulo em frequência mostrada na Figura 5.

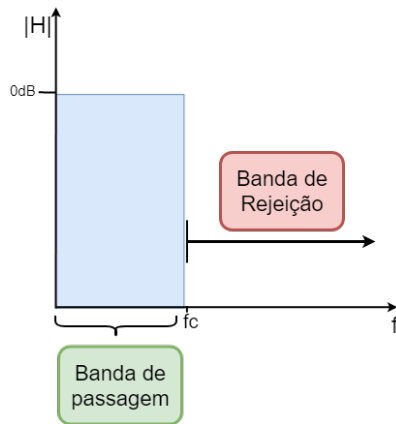


Figura 5 – Resposta em frequência de um filtro ideal

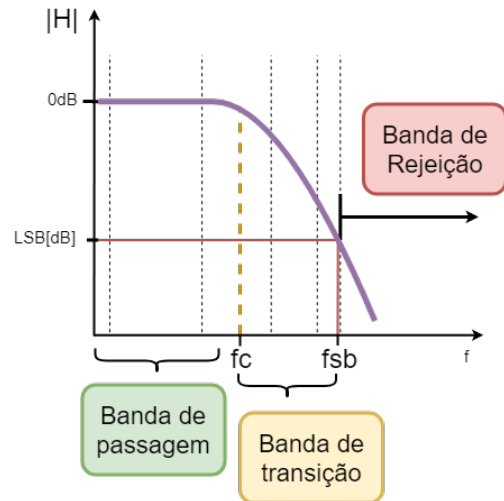


Figura 6 – Resposta em frequência de um filtro real

Entretanto, os filtros passa-baixa reais possuem uma banda a mais: a banda de transição. Essa banda representa os sinais de frequência cujas amplitudes não foram atenuadas suficientemente, de forma que não possam ser lidas pelo Conversor Analógico-Digital (ADC). Assim, se forem desprezadas na admissão da taxa de amostragem, podem gerar *aliasing*.

Com isso, em uma primeira análise, pode-se dizer que a frequência de amostragem deve satisfazer $f_s > 2 * f_{sb}$, em que f_{sb} é chamada *stop band frequency*, ou frequência da banda de rejeição.

Não existe método capaz de reverter o *aliasing* após o sinal ser amostrado. Então, o que deve ser feito é assumir uma faixa de frequência de interesse e utilizar circuitos capazes de atenuar frequências acima da frequência de *Nyquist*. Essa atenuação deve ser tal que o ADC não possua resolução capaz de detectar as componentes de alta frequência. Os circuitos responsáveis por garantir que não ocorra *aliasing* são denominados filtro anti-*aliasing* (FAA).

2.3 Conversor analógico-digital

O conversor analógico-digital, ou ADC, é responsável por digitalizar um sinal analógico. A conversão é referenciada às tensões de alimentação do ADC e graduada de acordo com o número de *bits*. Como exemplo, um conversor alimentado por uma tensão de 5V e com 10 *bits* de resolução possui 2^{10} divisões. Assim, a menor divisão do conversor é de $5/2^{10} = 4,88mV$ e, conseqüentemente, este é o menor valor que pode ser detectado pelo ADC. Se a resolução fosse de 12 *bits* ao invés de 10 *bits*, a resolução do conversor seria de $5/2^{12} = 1,22mV$. Este também é o passo do conversor,

também definido como LSB (*Least Significant Bit*), ou seja, todos os valores digitalizados são múltiplos da resolução.

Referências

- 1 MINERAL, M. J. C. *A importância da mineração para a economia brasileira*. Disponível em: <http://www.minasjr.com.br/a-importancia-da-mineracao-para-a-economia-brasileira/>.
- 2 PETRÓLEO, O. *Você sabe como funciona a mineração no Brasil hoje?* Disponível em: <http://www.opetroleo.com.br/voce-sabe-como-funciona-mineracao-no-brasil-hoje/>.
- 3 CTC. *AC102 Series*. Disponível em: https://www.ctconline.com/fileup/3DNEWPDF/AC102series_datasheet_3D.pdf.
- 4 INCORPORATED, T. I. *AN-236 An Introduction to the Sampling Theorem*. Disponível em: <http://www.ti.com/lit/an/snaa079c/snaa079c.pdf>.