

PLATAFORMA DIDÁTICA DE AQUISIÇÃO DE SINAIS ELETROOCULOGRAFICOS

Solivan Altoé – solivanaltoe@gmail.com

IFES-Instituto Federal de Ensino, Pesquisa e Extensão do Espírito Santo

Rodovia BR 101 Norte, km 58, Litorâneo

29932-540 – São Mateus – Espírito Santo

Tiago Zanotelli – tiagozanotelli@gmail.com

***Resumo:** Este projeto consistiu na confecção de uma plataforma didática de aquisição de sinais eletrooculográficos para que seja utilizada no ensino das disciplinas de eletrônica do curso técnico em eletrotécnica do IFES Campus São Mateus, visando aprimorar as habilidades técnicas dos alunos desse curso. Esta plataforma consiste em um circuito eletrônico impresso em uma placa de fenolite, que utiliza eletrodos, fonte simétrica, amplificador de instrumentação e filtro RC. Ela capta sinais provenientes de movimentos do globo ocular quando se piscam os olhos. A ideia é aguçar a criatividade dos alunos e despertá-los para resoluções de problemas tecnológicos do mundo atual. A placa pode ser usada em experiências práticas do conteúdo ministrado em sala de aula. Ela é multidisciplinar e isso provê ao aluno o aprimoramento do aprendizado em diversas áreas simultaneamente. São diversas as aplicações e dentro dessas aplicações o aluno tem que ter domínio em eletrônica analógica, circuito de corrente alternada (CCA), sistemas digitais e até comandos elétricos e máquinas elétricas. Também foi possível relacionar o uso da placa com o ensino de biologia do curso técnico em eletrotécnica integrado ao ensino médio da mesma instituição.*

***Palavras-chave:** Sinal biológico, Eletrooculograma, Amplificador de instrumentação, Filtro eletrônico, Placa de circuito impresso.*

1. INTRODUÇÃO

A crescente evolução tecnológica que invade nosso mundo moderno traz soluções para problemas tecnológicos, mas ao mesmo tempo cria novas oportunidades a serem exploradas pela criatividade humana. São soluções que são procuradas no meio comercial, na área de medicina e, principalmente, no meio industrial. A automação, o controle de processos, o processamento de sinais, a conversão dos sistemas analógicos em digitais são as áreas do conhecimento mais exploradas hoje na busca de soluções para os problemas atuais de natureza tecnológica. As escolas, principalmente as de ensino técnico, tecnológico e profissionalizante e as instituições de engenharia voltadas para área de elétrica, mecatrônica, automação, entre outras que se alimentam de inovações tecnológicas, estão sendo cada vez mais cobradas quanto ao aprimoramento das metodologias de ensino/aprendizagem que utilizam, para que atendam às necessidades do mercado oferecendo mão-de-obra sempre qualificada.

A partir dessa problemática, esse projeto se propôs a criar uma plataforma didática para aquisição de sinais eletrooculográficos para ser usado nos laboratórios de ensino do IFES

dentro do curso técnico em eletrotécnica, tanto o concomitante quanto o integrado, que permitisse ao aluno desenvolver um estudo multidisciplinar envolvendo várias disciplinas afins dentro da grade curricular do curso, despertando-o para inovações tecnológicas, soluções de problemas tecnológicos e até para descobrir que carreira profissional seguir, pois o aparato envolve conhecimentos de várias engenharias, tais como, elétrica, eletrônica, robótica, biomédica, automação e controle, de computação, entre outras.

O projeto constitui um circuito impresso sobre placa de fenolite que contém uma fonte simétrica baseada em dois reguladores de tensão LM 723, fornecendo +5V e -5V para o amplificador operacional de instrumentação (AOP). Às entradas do AOP estão conectados dois eletrodos para captar sinais do globo ocular (sinais eletrooculográficos). Após a saída do AOP, existe um filtro passa alta e outro passa baixa para retirar ruídos do sinal. O sinal que sai do filtro é então disponibilizado em dois bornes para ficar a disposição de qualquer aplicação que venha ser desejada com esse sinal, inclusive analisá-lo por meio de um osciloscópio.

2. ELETROOCULOGRAMA

Com o atual estágio de desenvolvimento da eletrônica, é possível hoje explorar as diversas atividades elétricas do corpo humano. Exemplo disso, têm-se hoje as técnicas de eletrocardiografia – representação dos potenciais elétricos originados do coração; eletromiografia – registro das atividades elétricas dos músculos; eletrooculografia – determinação dos potenciais elétricos entre a córnea e a retina; e eletroencefalografia – medições dos sinais elétricos do cérebro. O estudo dos sinais biológicos abre caminhos para o entendimento a fundo do funcionamento das estruturas do corpo humano, o que pode, futuramente, descobrir as causas de doenças hoje incuráveis e seus respectivos tratamentos. (MARTINS, 2005).

Dos sinais biológicos, os sinais eletrooculográficos são uns dos menos explorados em aplicações práticas. Esses sinais medem o que se chama de eletrooculograma. Eletrooculograma (EOG) é a medida do potencial de repouso do olho, equivalente em média a $6\mu\text{V}$. Quando se altera a iluminação na retina, faz surgir uma diferença de potencial entre a córnea, que é eletropositiva e o epitélio pigmentado da retina, que é eletronegativo. Holmgren foi o primeiro a demonstrar que havia alterações na amplitude deste potencial em diferentes níveis de iluminação. Mas foi só em 1951 que o termo eletrooculografia foi introduzido no meio científico por investigadores que mediram a diferença de potencial entre a córnea e o polo posterior do globo ocular. Em 1960 utilizou-se o EOG no estudo de movimentos oculares normais e patológicos (MUNHOZ *et al.*, 2003).

Em 1962 Arden, Barrada e Kelsey introduziram a eletrooculografia como ferramenta para medir a função retiniana. Assim, o potencial de repouso ou potencial córneo-retiniano, ou mesmo ainda corrente de repouso passou a ser referência para diagnósticos de estado da fisiologia e da fisiopatologia retiniana (MUNHOZ *et al.*, 2003).

A medicina é quem sem dúvidas mais se beneficiará com os estudos da eletrooculografia. São diversas as possibilidades de aplicação da eletrooculografia na medicina. Entre elas, podemos citar utilização da EOG para avaliação de toxicidade ocular por cloroquina, quinino, metanol, entre outros. O EOG também pode estar alterado em várias doenças da retina, o que, se estudado a relação dessas doenças com seus respectivos níveis de tensão medidos pelo eletrooculograma, poder-se-á ter uma poderosa ferramenta para diagnóstico de doenças retinianas. Quando consorciado com o eletrorretinograma, passa a atuar como diagnóstico da doença de Best. Uma outra aplicação que já existe hoje, devido ao desenvolvimento da neurociência, é na detecção de distúrbios do sono. Após descobrirem que existem movimentos dos olhos durante o sono, foi-se implementada a polissonografia, que nada mais

é a combinação da eletroencefalografia, eletromiografia e eletrooculografia para se estudar as relações que tais movimentos têm com o sono (MUNHOZ *et al.*, 2003). Também pode ajudar deficientes físicos. Seria interessante se fossem desenvolvidas cadeira de rodas controlada pelos usuários através dos movimentos de seus próprios olhos.

No Brasil, os aparelhos de coletas e medições de sinais biológicos são caros por serem na maioria importados. Uma solução para isso é, por exemplo, incentivar alunos de níveis técnico, tecnológico ou superior a desenvolver pesquisa nessa área. Esse fomento poderia despertar entre tantos, pessoas dispostas a abrir algum negócio na área de fabricação de equipamentos para exames médicos.

3. PLATAFORMA DIDÁTICA DE AQUISIÇÃO DE SINAIS ELETROOCULOGRÁFICOS

A plataforma didática consiste numa placa de circuito impresso (PCI) de aquisição de sinal eletrooculográfico baseado no amplificador operacional de instrumentação INA 118 da Burr Brown. Esse amplificador foi desenvolvido para aplicações que envolvam aquisição de sinais e instrumentação médica, entre outras. As características que o torna atraente para tais aplicações são: baixa tensão *offset* ($50 \mu\text{V}$ máximo), alta CMRR (110 dB mínimos), baixo nível de ruído ($0,28 \mu\text{Vp-p}$), ganho ajustável (1 a 10.000), baixo valor de corrente quiescente ($350 \mu\text{A}$), *slew-rate* $0,9 \text{ V}/\mu\text{s}$ (BURR BROWN, 1998). Para construir a plataforma, os recursos utilizados foram dos próprios autores, mas se utilizou os equipamentos e laboratórios da instituição.

Para captar os sinais EOG deve-se colocar eletrodos nas regiões próximas aos olhos. Estes captam sinais quando se realiza algum movimento ocular. Os sinais são então amplificados, uma vez que, nas condições de coleta, possuem níveis de tensão muito baixos - da ordem de micros a milivolts. Depois de amplificados, os sinais passam por um processo de filtragem formado por dois filtros RC, um passa alta e outro passa baixa, pois no processo de coleta, eles chegam com muitos ruídos e interferências. Assim, torna-se imprescindível a retirada dessas interferências para que não haja problemas quando for feita a aplicação deles. Depois do tratamento, estes sinais ficam prontos para serem usados em comandos externos qualquer através dos bornes de saída. Essa plataforma coleta sinais provenientes de movimentos do globo ocular quando se piscam os olhos direito e esquerdo.

3.1. Fonte simétrica

O circuito eletrônico da plataforma possui uma fonte simétrica de $\pm 5 \text{ V}$. Para tal, são usados dois reguladores de tensão LM 723. São caracterizados por possuir tensão de alimentação contínua de no máximo 40 V, tensão de saída regulada (V_{out}) ajustada entre 2 V e 37 V, alta rejeição de ripple (86 dB), quando usado um capacitor de referência C_{REF} de 5, excelente regulação de entrada e da carga, alta estabilidade à temperatura e baixa corrente de standby (2,3 mA), baixo nível de ruído de saída, que é de $2,5 \mu\text{V}$ (NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION, 1994).

A característica que mais influenciou na escolha desse regulador foi o seu baixo nível de ruído de saída já que os sinais medidos pelo sistema serão também de baixa amplitude. Seu diagrama de conexão está mostrado na figura 1:

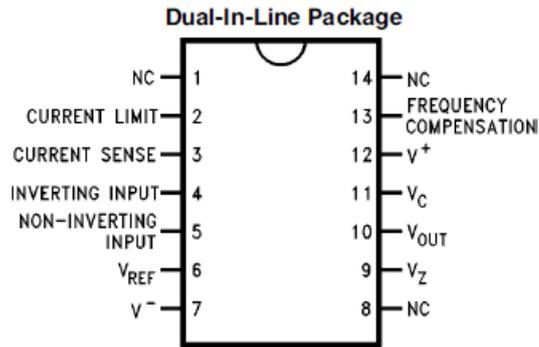


FIGURA 1 - Diagrama de conexão do regulador de tensão LM 723.
 Fonte: National Semiconductor, 1995

Na figura 2 temos o circuito equivalente do LM 723:

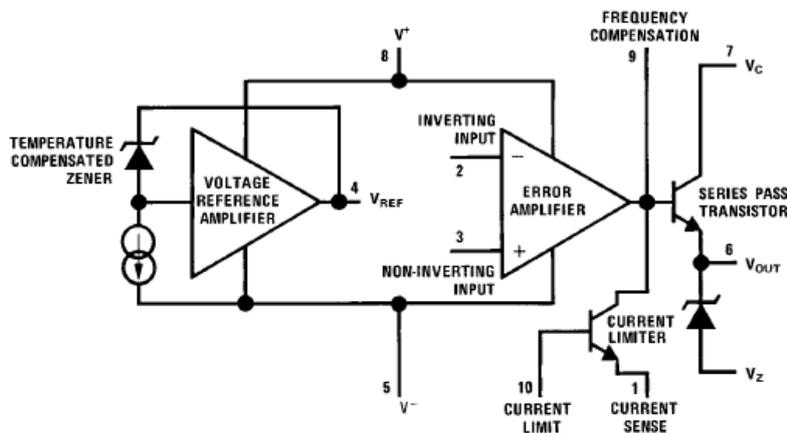


FIGURA 2 - Circuito equivalente do regulador de tensão LM 723.
 Fonte: National Semiconductor, 1995

Para configurar a tensão regulada de saída, é necessário montar um circuito típico, conforme está demonstrado no seu datasheet. Como o amplificador INA 118 usa tensão simétrica de ± 5 V, o circuito típico usado na plataforma para configurar o regulador para fornecer tensão de saída de ± 5 V está mostrada na figura 3:

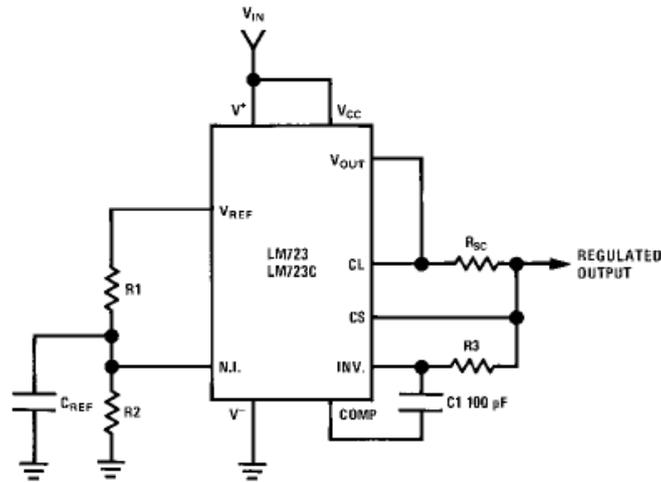


FIGURA 3 - Circuito típico para tensão da saída entre +2 V e +7 V
 Fonte: National Semiconductor, 1995

Para ajustar a tensão de saída para +5 V, é preciso aplicar a equação (1):

$$V_{out} = V_{REF} \times \frac{R2}{R1 + R2} \quad (1)$$

onde $R1$ e $R2$ são resistores, e V_{ref} é uma tensão de referência disponibilizada no pino 6 do LM 723 conforme mostra a figura 3. Os valores de $R1$ e $R2$ para $V_{out} = +5$ V são dados no datasheet do LM 723 como 2,15 k Ω e 4,99 k Ω , respectivamente. Para finalizar o ajuste de V_{out} para +5 V, ainda falta determinar o resistor 3 ($R3$). Para tal, o datasheet traz que $R3$ vale:

$$R3 = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} \quad (2)$$

Considerando os valores de V_{out} , $R1$ e $R2$ desejados, $R3$ vale 1503 Ω . Ainda existe o capacitor C_{REF} . O datasheet não traz nenhuma informação sobre ele. Para este capacitor foi utilizado um de 0,1 μ F e que não interferiu no resultado esperado.

Cada circuito integrado (CI) do LM 7023 fornece então um V_{out} de +5V. Como a fonte deve ser simétrica, é necessário arranjar os dois CIs de forma a se obter uma saída de +/-5 V conforme mostra a figura 4:

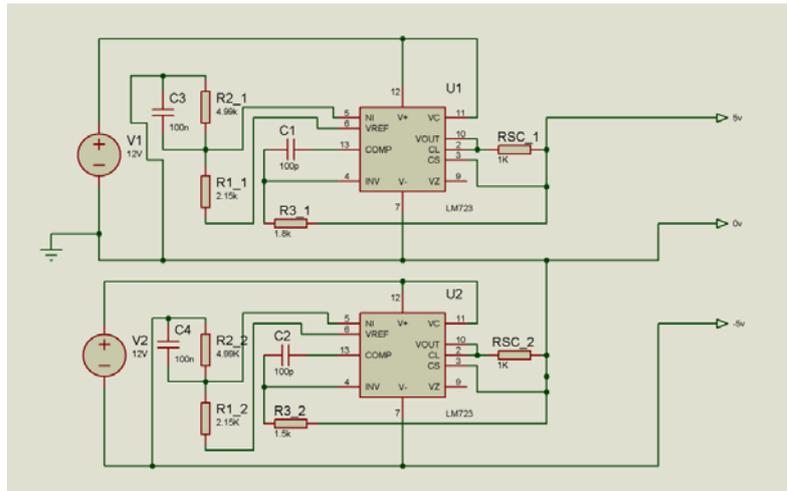


Figura 4 – Fonte simétrica usando dois LM 723
Fonte: próprio autor

Na figura 4 temos o terminal negativo do CI U1 (LM 723 1) ligado ao terminal positivo do CI U2 (LM 723 2). Dessa forma, a tensão de +5 V provém do terminal positivo do CI U1 e a tensão de -5 V provém do terminal negativo do CI U2. Os dois terminais interligados passa a ser a referência do circuito (0 V). A fonte de alimentação da plataforma didática provém de duas baterias de 9V.

3.2. Amplificador de instrumentação

Para amplificar os sinais provenientes dos eletrodos de captação, a plataforma utiliza um amplificador operacional (AOP) de instrumentação, também chamado de amplificador de precisão da Bur Brown, o INA 118.

Um amplificador de instrumentação é um tipo especial de AOP que permite obter algumas características muito especiais, tais como resistência de entrada muito alta, resistência de saída menor que a dos AOPs comuns, razão de rejeição de modo comum (*CMRR*) superior a 100 dB, ganho de tensão em malha aberta muito superior ao dos AOPs comuns, tensão de offset de entrada muito baixa e drift extremamente baixo (PERTENCE, 2003).

O INA 118 é um amplificador que já é usado em aplicações que envolvem aquisição de dados e instrumentação médica. Suas principais características são: baixa tensão de offset (50 μV máximo), alta *CMRR* (110 dB mínimos), baixo nível de ruído (0,28 $\mu\text{Vp-p}$), ganho ajustável (1 a 10.000), baixo valor de corrente quiescente (350 μA), slew-rate (aproximadamente 0,9 $\text{V}/\mu\text{s}$) (BURR BROWN, 1998). A figura 5 mostra seu diagrama de conexão:

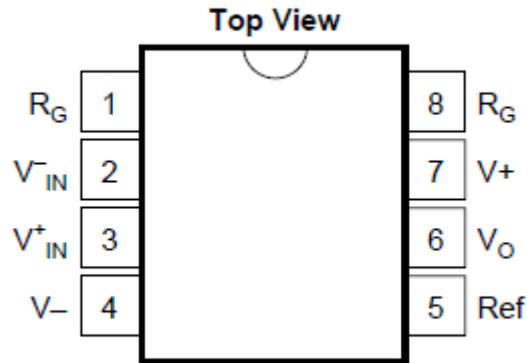


Figura 5 - Diagrama de conexão do INA 118
Fonte: Burr Brown, 1998

Nos terminais 7 e 4 vão os cabos da fonte de suprimento simétrica polaridade positiva e negativa, respectivamente. Nos pinos 2 e 3 conectamos os cabos dos eletrodos que transportam os sinais eletrooculográficos. Os pinos servem para conectar o resistor de ganho (R_G). O pino 6 é a saída do sinal amplificado, enquanto que o pino 5 é a referência de tensão (BURR BROWN, 1998).

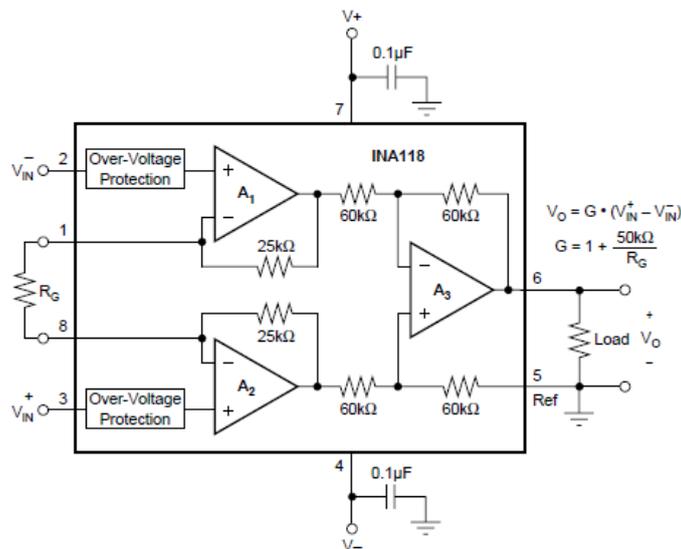


Figura 6 - Circuito equivalente do INA 118
Fonte: Burr Brown, 1998

A figura 6 mostra o circuito equivalente interno do INA 118, bem como as ligações externas como o resistor de ganho, a carga e os capacitores de desacoplamento. Na mesma figura, vemos a equação da saída V_O :

$$V_O = G \cdot (V_{IN}^+ - V_{IN}^-) \quad (3)$$

e também vemos a equação do ganho G :

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G} \quad (4)$$

O AOP da plataforma está configurado para um ganho de 1000. Para tal, conforme a equação 4, seu R_G vale aproximadamente 50Ω .

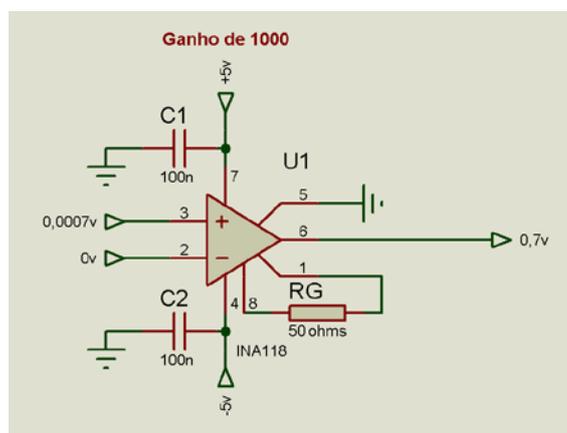


Figura 7 – AOP INA 118 com ganho de 1000
Fonte: próprio autor

3.3. Filtros RC

Após o AOP há dois filtros passivos RC (um capacitor e um resistor) passa alta e passa baixa. O filtro passa alta tem a finalidade de filtrar os sinais de baixa frequência, como por exemplo, ruídos produzidos por sinais de celulares e tensões offset. Foi utilizado para isso um filtro passa alta com frequência de corte de 0,1 Hz, o que não interfere na aplicação (captação de sinais eletrooculográficos). Este filtro, portanto, corta todas as frequências abaixo de 0,1 Hz e deixa passar as frequências acima deste valor. Para calcular os componentes deste filtro, foi utilizada a equação de cálculo de filtro RC:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (5)$$

onde f_c é a frequência de corte. Os valores encontrados para R e C foram, respectivamente, $2,2\text{ M}\Omega$ e 680 nF .

Depois do filtro passa alta tem-se o filtro passa baixa. Sua frequência de corte é de 34,4 Hz. Este, portanto, elimina todos os sinais de frequência acima da frequência de corte e permite a passagem dos sinais cuja frequência está abaixo da f_c . Para determinar os valores de seus componentes, basta utilizar também a equação 5. Os valores encontrados para R e C forma respectivamente $6,8\text{ K}\Omega$ e 680 nF . A utilização combinada desses dois filtros tem a função de limitar a entrada de sinal em uma faixa de 0,1 a 34,4 Hz, o que corresponde à faixa de frequência dos sinais de EOG

3.4. Eletrodos

A plataforma possui ainda três eletrodos. Dois ficam na região periocular (região em volta do globo ocular) e o terceiro eletrodo é o de referência, que fica na orelha esquerda conforme vemos na figura 8:



Figura 8 – Colocação dos eletrodos
Fonte: próprio autor

4. RESULTADOS

Os resultados da plataforma didática de aquisição de sinais eletrooculográficos podem ser vistos num osciloscópio conforme as figuras. Os picos de tensão nos sinais mostrados no osciloscópio representam as piscadas de olhos. O pico de tensão para cima representa uma piscada com olho direito enquanto que o pico de tensão para baixo é uma piscada com o olho esquerdo.

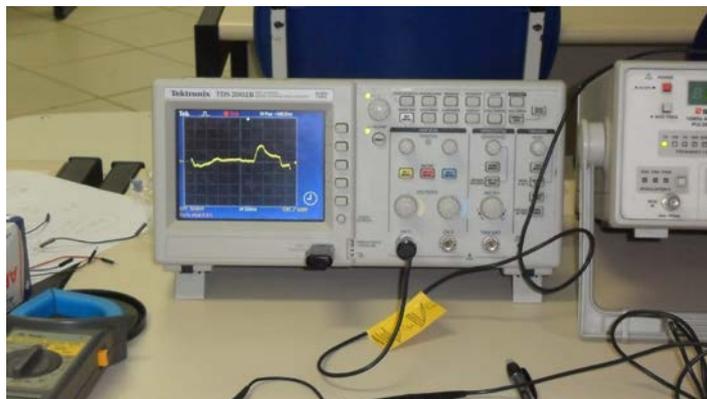


Figura 9 – Piscada com olho direito
Fonte: próprio autor

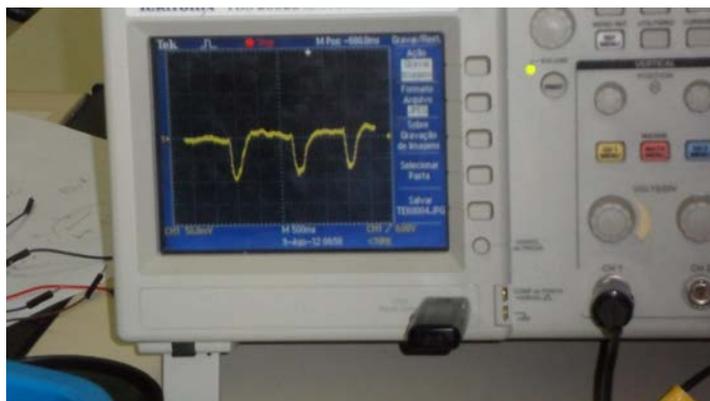


Figura 10 – Sinal de piscadas consecutivas do olho esquerdo
Fonte: próprio autor

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A plataforma didática ainda não foi disponibilizada aos alunos nos laboratórios do Ifes, embora este seja o seu fim. Quando isto acontecer, permitirá aos alunos o acesso ao estudo de sinais de forma prática e interessante. A partir desta plataforma didática o aluno pode criar qualquer aplicação com os sinais captados. Ele vai se deparar com um universo de possibilidades para aplicar os sinais eletrooculográficos. Assim surgirão diversos estudos que possam criar inovações tecnológicas e soluções de problemas tecnológicos.

Mas já teve alunos que conhecendo a plataforma, se interessou pelo assunto, e desenvolveu projeto similar, porém usando o AOP AD620 da Analogic Device em vez de usar o INA 118. Estudos como esse são úteis para comparar o desempenho entre os AOPs e assim determinar a aplicação mais adequada para cada tipo de AOP, além de conhecer os vários tipos de AOPs disponíveis no mercado.

Esse estudo é multidisciplinar, pois envolve várias disciplinas afins dentro da grade curricular do curso. É possível combinar o conhecimento de várias disciplinas como eletrônica analógica e digital, comandos elétricos e circuito de corrente alternada (CCA). Dentro de eletrônica analógica o aluno aplica conhecimentos de amplificador de instrumentação e filtros ativos; em CCA, de sinais elétricos e filtros passivos; em sistemas digitais, conversão AC/DC, microcontrolador e processamento de sinais; em comandos elétricos e máquinas elétricas, acionamento de motor de passo, servomotor, motor DC, etc. Além dessas disciplinas, é possível combinar o conhecimento de biologia dentro de anatomia do olho humano. Assim, até os alunos do curso técnico em eletrotécnica integrado ao ensino médio podem desenvolver trabalhos multidisciplinar com a placa didática, incluindo as disciplinas técnicas com as regulares (biologia).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURR BROWN. **Folha de dados do amplificado de instrumentação INA 118**. Disponível em: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/BurrBrown/mXrvsur.pdf>> Acesso em: 06 jun. 2012.

MARTINS, Vinicius Ruiz. UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, Centro Tecnológico. Desenvolvimento de uma placa de captura de sinais biológicos com interface com computador. 2005. 48p, il. Dissertação (Mestrado).

MUNHOZ, Juliana Simões; SALOMÃO, Solange Rios; BEREZOVSKY, Adriana; SACAI, Paula Yuri. **Padronização normativa de eletro-oculografia em adultos**. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abo/v67n2/19742.pdf>> Acesso em: 12 mar. 2012.

NATIONAL SEMICONDUCTOR. **Folha de dados do regulador de tensão LM 723**. Disponível em: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/nationalsemiconductor/DS008563.PDF>> Acesso em: 06 jun. 2012.

PERTENCE JR, Antonio. *Eletrônica Analógica: amplificadores operacionais e filtros ativos*. 6. ed. São Paulo: Artmed, 2003. 305 p, xv.

DIDATIC PLATFORM FOR ACQUISITION ELETROOCULOGRAPHICS SIGNALS

Abstract: *This project involved the construction of a didactic platform for electrooculographics signal acquisition to be used in teaching subjects of electronic in electrotechnical technical course from the IFES Campus São Mateus, aiming to improve the technical skills of the students in this course. This platform consists an electronic circuit printed on a phenolite board, which uses electrodes, symmetrical source, instrumentation amplifier and RC filter. It picks up signals from movements of the eyeball when the eye blinks. The idea is to sharpen students' creativity and awaken them to resolutions of technological problems of the world today. The board is multidisciplinary and it provides students with the improvement of learning in several areas simultaneously. There are several applications and within these applications the student must have mastery in analogic electronics, alternative current circuit (AAC), digital systems and even electrical controls and electrical machinery. It was also possible to relate the use of the board with the teaching of biology from the electrotechnical technical course integrated into the high school of the same institution.*

Keywords: *Biological signal, Electrooculogram, Instrumentation amplifier, Electronic filter, Printed circuit board.*