

APLICAÇÃO DE UM FILTRO DIGITAL IMPLEMENTADO EM MICROCONTROLADOR PARA SENSORIAMENTO ÓTICO

Carlos F. Martins, Ricardo L. da Costa, Tiago A. Franzen, Ângelo V. dos Reis¹

SENAI-SC/CTAI

martins@ctai.senai.br - www.ctai.senai.br

Rodovia SC 401, nº 3730 - Bairro Saco Grande II

CEP 88.032-005 - Florianópolis - SC

Resumo Este artigo descreve a implementação de um filtro digital com o objetivo de viabilizar a utilização de um dispositivo de sensoriamento ótico além de suas especificações. O artigo inicia com a descrição de um sistema de contagem de sementes miúdas e posteriormente aborda a utilização do filtro digital implementado em um microcontrolador, como forma de captar o sinal gerado pela passagem de uma semente por um sensor ótico.

Palavras Chaves: Filtro digital, sensor ótico, microcontrolador aquisição de sinais.

Abstract: This article describes the implementation of a digital filter with the objective of making possible the use of a device of optic sensing beside its range of specifications. The article begins with the description of a small seeds counter system and later it describes about the use of the digital filter implemented in a microcontroller, as form of capturing the signal generated by the passage of a seed through an optic sensor.

Keywords: Digital filter, optic sensor, microcontroller, data acquisition.

1 INTRODUÇÃO

O ato de semear e adubar visa colocar no solo uma certa quantidade de sementes e fertilizantes, de maneira que a cultura implantada apresente as melhores condições de desenvolvimento e produção. Para que isso ocorra, é necessário seguirem-se as recomendações agronômicas, principalmente no que se refere a densidade, espaçamento e profundidade de deposição das sementes, juntamente com a quantidade e localização do fertilizante, o que é conseguido com o emprego de máquinas específicas para essa tarefa: as semeadoras.

As principais funções de uma semeadora são dosar as sementes, abrir o sulco de semeadura, depositar as sementes no fundo do sulco e cobri-las com uma camada de solo. Na semeadura de precisão, o mecanismo dosador da semeadora permite a colocação das sementes espaçadas umas das outras, dentro da linha de semeadura, com distâncias definidas. Com

este tipo de semeadora, torna-se possível a quantificação do número de sementes que estão sendo distribuídas por metro linear. Também o espaçamento entre sementes vem a ser bastante uniforme, ou seja, a variação no número e posicionamento entre elas, é pequeno.

A calibração e a medição da precisão destas semeadoras é tradicionalmente feita através de um método pouco eficaz e muito trabalhoso: as sementes são depositadas em uma esteira coberta de graxa que se movimenta com uma velocidade constante (Figura 1). Quando uma certa quantidade de sementes fica presa à graxa, o processo pára, se limitando ao comprimento da esteira em questão. Posteriormente, as distâncias entre as sementes são medidas manualmente, tornando o método trabalhoso e lento. Soma-se a essa dificuldade o fato dos valores das medições terem que ser digitados no computador para que seja feita a análise estatística. A título de exemplo, a ABNT (1994), preconiza que o ensaio de dosadores de precisão, para cada condição de teste, seja feito com 250 espaçamentos entre sementes e no mínimo sete repetições, totalizando 1.750 medições.

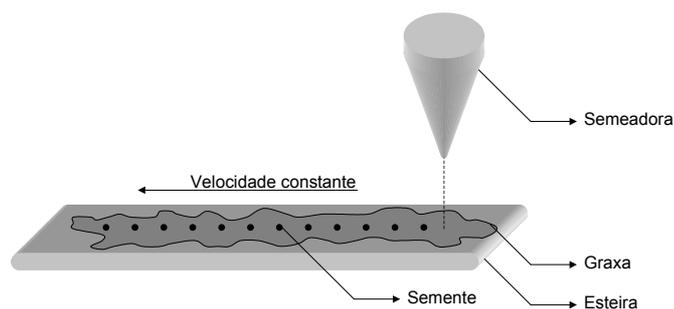


Figura 1 – Esteira com graxa.

A tendência atual nos testes de avaliação de semeadoras e de dosadores de sementes é o emprego de sensores óticos colocados no tubo de descida, especialmente no caso de sementes ditas *grauídas* (soja, milho, feijão). O tempo de passagem entre sementes consecutivas é obtido através de sensores óticos (pares de LEDs emissor/receptor) adequadamente colocados no tubo condutor e transformado em distância entre sementes. Esse método tem boa precisão e torna mais rápido a execução dos ensaios. Relatos da utilização

desses sistemas de medição são feitos por Fey *et al.* (1999), Lan *et al.* (1999), Casão Júnior (1996).

No caso de sementes ditas *miúdas* (arroz, trigo, sorgo), o alvo é, obviamente, menor, dificultando o emprego dos mesmos sistemas óticos de medição empregados para dosadores de sementes graúdas. Lan *et al.* (1999) desenvolveram um sistema ótico de contagem de sementes miúdas baseado no uso de uma bateria de pares de LEDs com objetivo de garantir a detecção das sementes. No estudo comparativo desse sistema com o método da correia com graxa, os autores concluíram que não há diferença significativa entre os resultados obtidos por ambos, o que confirma a precisão do método.

Sendo assim, o problema se traduz no desenvolvimento de um sensor capaz de efetuar a contagem de sementes miúdas (arroz, por exemplo) que passam por um duto de 80mm de diâmetro a uma razão de até 50 sementes por segundo. Os dados coletados deveriam ser enviados e armazenados em um microcomputador para posterior análise.

2 SENSOR ÓTICO

Para solucionar o problema de leitura de dados alguns experimentos foram realizados com o objetivo de analisar as possibilidades de utilização de sensores do tipo magnético, capacitivo e ótico, de forma que detectassem a passagem de uma semente de acordo com a perturbação correspondente gerada pela mesma. Devido ao fato desta perturbação ser de amplitude muito reduzida, a aplicação de sensores magnéticos e capacitivos tornou inviável a medição destas grandezas.

A solução encontrada foi a utilização de um sensor ótico que atendesse às seguintes especificações:

- Menor objeto a ser detectado: 9,7 x 2,4 x 2,1mm (semente de arroz)
- Área de detecção: 80mm²
- O sensor não deveria constituir-se em um obstáculo à passagem das sementes.
- Erro funcional do sistema não deveria exceder a 1%.

As especificações de tamanho mínimo a ser detectado e distância entre os sensores estavam além das capacidades nominais de qualquer sensor comercial, salvo alguns casos em que determinados sensores atendiam a aplicação mas atingiam um custo extremamente.

Optou-se então pela utilização de um sensor de fibras óticas que mesmo não atendendo nominalmente as especificações do projeto, disponibilizava uma saída analógica na qual a perturbação gerada pela passagem de uma semente podia ser observada, mesmo que muito discretamente.

O princípio de funcionamento do sensor em questão (Figura 2) é a diferença de luminosidade entre o emissor e o receptor. A luz é emitida através de um conjunto de fibras óticas e tem seu nível comparado ao da entrada, gerando um valor digital de 12 bits.

O módulo do sensor possui uma saída digital que tem seu estado baseado em uma variável, que, quando comparada ao valor de 12 bits gerado pelo sensor, força a saída para “zero” ou para “um”, dependendo do nível do sinal luminoso.

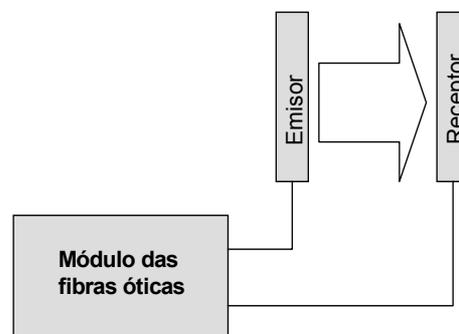


Figura 2 – Diagrama de blocos do sensor ótico.

Ocorre que a perturbação gerada pela passagem da semente, na maioria das vezes não é suficiente para fazer esta saída mudar de estado gerando um pulso. Isto ocorre por dois motivos:

- O pulso gerado pela passagem da semente tem uma frequência muito alta, em decorrência da velocidade de passagem da mesma;
- A semente, por ter um tamanho abaixo do nominalmente detectado, pode não passar diretamente sobre um dos feixes de luz, conforme a Figura 3 (semente número 2), gerando uma perturbação de baixa amplitude.

Trata-se então de um problema relacionado a baixa amplitude e a alta frequência na detecção das sementes.

O sensor disponibiliza uma saída analógica com o nível de tensão relativo a taxa de luminosidade. A variação desta grandeza ocorre em tempo real, representando sinais de alta frequência. Isso possibilita que, mesmo os pulsos de períodos reduzidos decorrentes da passagem de sementes, sejam detectados.

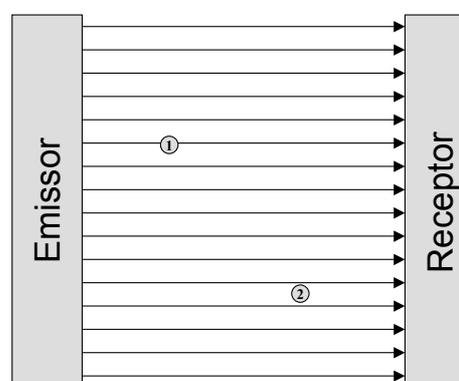


Figura 3 – Passagem das sementes através dos feixes de luz.

O sinal a ser detectado fica em uma faixa muito próxima a possíveis ruídos presentes, justamente pelas dimensões reduzidas do objeto que causam uma baixa amplitude. De acordo com a Figura 3, quando uma semente passa diretamente sobre um feixe de luz, (1), ocorre uma perturbação de ordem um pouco maior. Porém, quando a mesma semente passa por uma região em que não corta diretamente um feixe de luz (2) a perturbação gerada é de menor amplitude que no caso anterior.

Mesmo não passando diretamente sobre o feixe, a semente proporciona uma pequena sombra nos pontos de recepção da luz (Figura 4). Esta sombra é proveniente dos feixes de luz dos emissores próximos à linha de passagem da semente. Esta pequena sombra é capaz de gerar um pulso na forma de onda da saída analógica do sensor, fazendo com que a semente possa ser detectada mesmo passando entre dois feixes de luz.

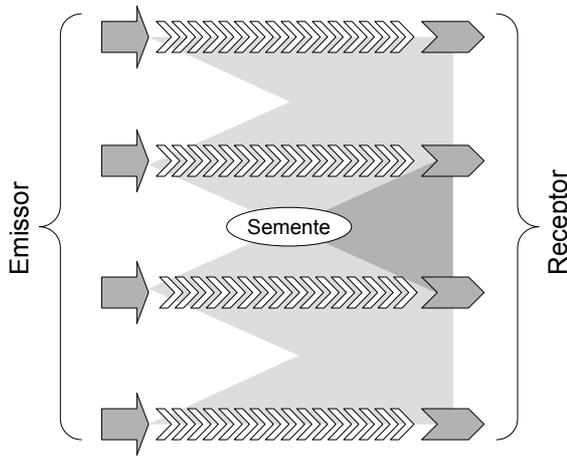


Figura 4 – Sombra gerada pela semente.

O sinal óptico proveniente do sensor deve ser transferido para um sistema inteligente, para a implementação de um filtro digital do sinal. Para isso é necessário que ocorra a discretização do sinal, trazendo a necessidade de um conversor analógico digital.

Depois da aquisição e tratamento do sinal, é necessário transmitir os dados para um microcomputador. Assim, foi utilizado um sistema microcontrolado capaz de atender as necessidades de comunicação com um computador (PC) e que já disponibilizasse internamente um conversor analógico / digital.

O microcontrolador utilizado possui incorporado internamente 8 canais de conversão Analógico / Digital (A/D) (Figura 5) com resolução de 10bits com uma taxa de amostragem de 50kHz.

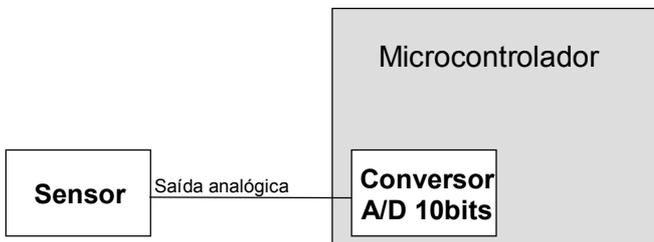


Figura 5 – Conversor A/D.

Desta forma, a saída analógica pôde ser diretamente conectada a entrada do microcontrolador, dispensando qualquer circuito de amplificação ou filtragem por hardware.

O sinal tratado no microcontrolador via software é enviado para um PC através de um canal de comunicação serial (Figura 6), RS-232. Assim, os dados são armazenados em um arquivo de dados em um PC para posterior análise. O programa rodando no PC é apenas um aplicativo que lê a porta serial e grava os resultados em arquivo texto.

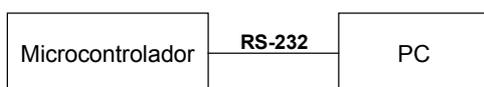


Figura 6 – Comunicação serial.

A placa de aquisição de dados junto ao microcontrolador não possui memória de massa. Assim, há a necessidade do PC estar junto a bancada de testes para o armazenamento de dados.

3 FILTRO DIGITAL

Inicialmente o sistema recolhe mil pontos de amostra para determinar o nível mínimo da faixa de ruído. O sinal oriundo da saída analógica do sensor é composto por uma componente de tensão DC, o sinal que corresponde à variação da luminosidade no receptor e o ruído, conforme a Figura 7

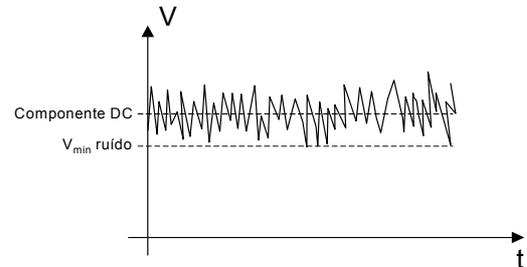


Figura 7 – Forma de onda do sinal.

A passagem da semente gera um pico negativo em relação ao componente de tensão DC. A princípio todo pico inferior a $V_{min\text{ruído}}$ poderia ser considerado uma passagem de semente, porém, eventualmente, ocorrem picos de ruídos maiores que os detectados na calibração inicial.

A diferença do período da perturbação gerada por ruído em relação a gerada pela semente possibilita que as mesmas sejam distinguidas, separando o que é uma detecção real de um ruído.

Antes de filtrar os componentes de alta frequência, o sinal passa por um filtro de média móvel, que consiste, de acordo com Smith, W. Steven (1999), em um sistema linear invariante no tempo (LIT), que possui resposta impulsional finita (FIR) e necessita de valores de entrada futuras. Como o próprio nome sugere, o filtro de média móvel tira uma média, que vai se alterando, entre os valores do sinal em questão (figura 8). Considerando $M_1=0$ (Medida 1 igual a zero) p/ ser um sistema causal, temos:

$$y[n] = \frac{1}{M_2 + 1} \sum_{k=0}^{M_2} x[n - k]$$

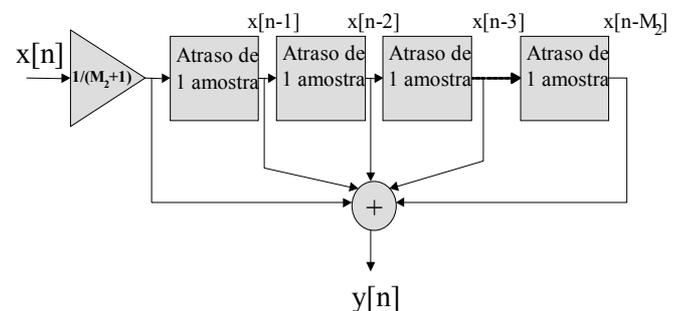


Figura 8 – Filtro de média móvel

A redução do ruído em decorrência da aplicação deste filtro é representada na Figura 9. Observa-se que o sinal original (a) tem o ruído reduzido usando-se 11 pontos de média móvel (b). O uso de um maior número de pontos causaria uma atenuação muito acentuada no sinal gerado pela passagem de uma semente.

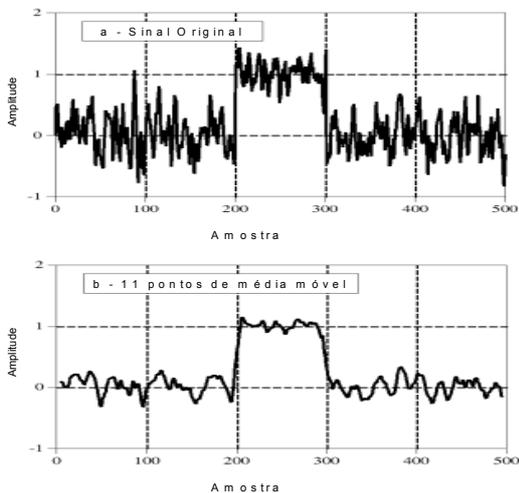


Figura 8 – Redução do ruído do sinal.

Os componentes de alta frequência são retirados por meio da implementação de um filtro digital passa-baixa, representado na Figura 10.

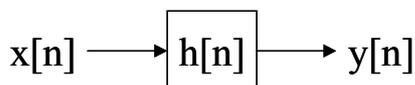


Figura 10 – Representação do filtro passa-baixa.

O software analisa as medidas coletadas do A/D e comparando com a medida relativa a $V_{minRuído}$ é feita a filtragem das informações.

Quando uma tensão menor que $V_{minRuído}$ é detectada, o software do microcontrolador aguarda uma segunda medida, que determinará se a perturbação é um ruído ou é passagem de uma semente.

Quando a perturbação ocorre por causa de um pico de ruído geralmente o A/D não capta a mesma, pois devido ao curto período em que ela ocorre, perturbação fica fora das medidas de amostragem.

Se, por ventura, ocorrer do pico de ruído coincidir com o momento em que a amostragem está sendo feita pelo A/D, irá ocorrer que na próxima medida a tensão detectada estará acima da faixa de $V_{minruído}$ (Figura 11). Assim, esta detecção pode ser descartada.

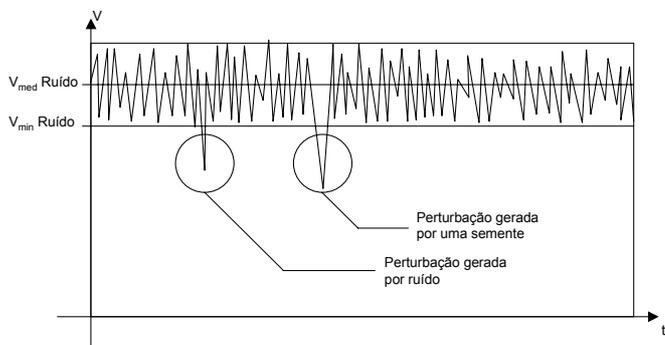


Figura 11 – Pico de ruído e passagem de semente.

No caso da detecção de uma perturbação real ocasionada por passagem de semente, o A/D apresentará duas ou mais

amostras abaixo da faixa de $V_{minruído}$, possibilitando que o software diferencie o que é semente do que ruído.

A performance satisfatória do filtro acima justifica a não utilização de um filtro executado por convolução, por exemplo, que exigiria, segundo Smith, W. Steven (1999), um elevado processamento, fazendo necessária a utilização de um dispositivo DSP (*Digital Signal Processor*).

4 RESULTADOS PRÁTICOS

O sensor de contagem de sementes miúdas está instalado em uma bancada de ensaio laboratorial de dosadores de sementes. É um equipamento capaz de testar a regularidade de distribuição longitudinal de sementes independentemente da características construtivas do dosador e do condutor de sementes. Um detalhamento da bancada é mostrado na Figura 12.

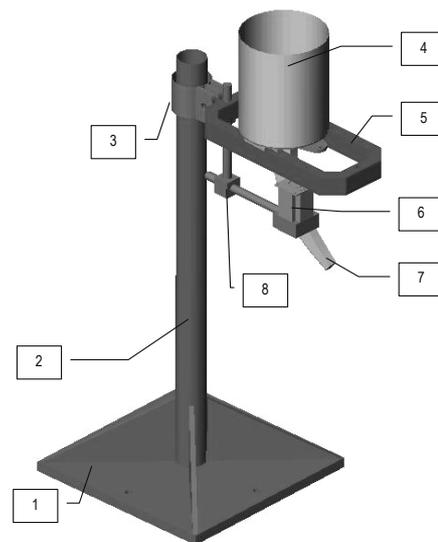


Figura 12 - Esquema da bancada de teste de dosadores, onde: 1) base da bancada, 2) coluna; 3) luva de regulagem de altura e inclinação; 4) dosador; 5) mesa de fixação do dosador; 6) motor de acionamento; 7) tubo condutor; 8) mecanismos de ajuste da posição do motor.

As sementes são armazenadas no dosador e liberadas de acordo com a intervenção de um mecanismo controlado pelo motor de acionamento. As sementes, então, descem pelo tubo condutor e caem no solo. No caso, o sensor é instalado abaixo da saída do tubo condutor para a verificação do espaçamento que as sementes são lançadas de acordo com o tempo entre as mesmas.

Uma das limitações do sistema de sensoriamento desenvolvido é a possibilidade de sementes grudadas passarem pelo tubo. Para esse caso em particular, dependendo de como as sementes grudadas passam pelo canal, o sinal detectado é de apenas uma semente. Testes experimentais comprovaram essa limitação, muito embora essa seja uma característica admissível ao sistema.

Poeiras e outros materiais que, na verdade, não são sementes, mas possuem a dimensão de uma delas também são contados, visto ser detectado um sinal de amplitude considerado.

Nos testes laboratoriais, as sementes foram lançadas em alta velocidade ao todo do equipamento, aleatoriamente, simulando realmente um sistema de dosagem. O resultado final mostrou um valor aceito dentro da precisão estabelecidas, comprovando

que, mesmo diante das limitações, o sistema mostrou-se confiável. A tabela 1 mostra alguns resultados de um experimento realizado.

Diversos outros testes foram executados afim de garantir, experimentalmente, a funcionalidade do sistema de aquisição e filtragem de dados.

Posteriormente, com o desenvolvimento de algum equipamento que venha a utilizar o sensor, pode-se facilmente utilizar algumas implementações para agregar significativamente valor ao produto. Por exemplo, a falta da necessidade de uma calibração manual ou regulagem das dimensões dos objetos a serem detectados.

Nº de sementes lançadas	Nº Sementes contadas (sensor)
100	100
150	149
170	170
200	198
200	199

Tabela 1 – Resultados experimentais

5 CONCLUSÕES

Este trabalho descreveu um projeto de Pesquisa Aplicada na área de sensoriamento e filtragem de dados.

A necessidade de saber o número de sementes e o espaçamento que as mesmas são depositadas para a calibração de semeadoras de precisão, levou ao desenvolvimento de um sistema de medição capaz de detectar sinais de baixa amplitude com a eliminação de ruídos através de processos de filtragem de acordo com a bibliografia.

O projeto, de acordo com os resultados práticos, mostrou-se confiável e preciso, com erro funcional menor que 1%, de acordo com as especificações.

O sistema de medição em questão pode ser utilizado ainda na elaboração de qualquer produto com a função de detecção de objetos de tamanho reduzido, não necessariamente sementes miúdas.

6 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994). Projeto de norma 04:015:06-004 – Semeadora de precisão: ensaio de laboratório. ABNT, S. Paulo.

CASÃO JUNIOR, R (1996). Desenvolvimento de sistema pneumático de dosagem e transporte de sementes, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FEY, E.; JUSTINO, A.; WEIRICH NETO, P. H. et al (1999). Efeito da velocidade tangencial do mecanismo dosador tipo disco perfurado horizontal na distribuição de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris*). In: Congresso Brasileiro de

Engenharia Agrícola, Pelotas. Anais... Jaboticabal: SBEA, 1 CD.

LAN, Y.; KOCHER, M. F.; SMITH, J. A (1999). Opto-electronic sensor system for laboratory measurement of planter seed spacing with small seeds. J. Agric. Engng. Res., v. 72, p. 119-127.

SMITH, W. STEVEN (1999). The scientist and engineer's guide to digital signal processing., 2nd ed, California Technical Publishing San Diego, California.

ⁱ Prof. Assistente, DER/FAEM/UFPEL, Doutorando em Eng. Mecânica, NeDIP/CTC/UFSC, cp.476, 88040-900, Florianópolis, SC - fone:048-3319719 (areis@nedip.ufsc.br)