

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA**

DEIVIDSON LUIZ OKOPNIK

**SOLUÇÃO ELETRÔNICA MICROCONTROLADA PARA A DETERMINAÇÃO DA
DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE SEMENTES DE MILHO**

**PONTA GROSSA
2012**

DEIVIDSON LUIZ OKOPNIK

**SOLUÇÃO ELETRÔNICA MICROCONTROLADA PARA A DETERMINAÇÃO DA
DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE SEMENTES DE MILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre na Universidade Estadual de Ponta Grossa, na Área de Computação, Automação e Gestão de Dados em Agricultura.

Orientadora: Prof^a Dr. Rosane Falate

**PONTA GROSSA
2012**

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Setor Tratamento da Informação Bicen/UEPG

O41s Okopnik, Deividson Luiz
 Solução eletrônica microcontrolada para determinação da distribuição
 longitudinal de sementes de milho / Deividson Luiz Okopnik. Ponta Grossa,
 2012.
 78 f.

 Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada - área de concentração
 Computação Aplicada à Agricultura), Universidade Estadual de Ponta Grossa.
 Orientadora: Profa. Dra. Rosane Falate.

 1. Milho. 2. *Zea Mays*. 3. Automação agrícola. Agricultura de precisão. I.
 Falate, Rosane. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em
 Computação Aplicada. III. T.

CDD: 006.3

TERMO DE APROVAÇÃO

DEIVIDSON LUIZ OKOPNIK

"SOLUÇÃO ELETRÔNICA MICROCONTROLADA PARA A DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE SEMENTES DE MILHO."

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora.

Orientador:


Rosane Falate
UEPG


Maurício dos Santos Kaster
UTFPR


Altair Justino
UEPG

Ponta Grossa, 30 de Julho de 2012.

Dedico este trabalho à minha família, que, com muita paciência, me aguardou e me auxiliou neste período de transição.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Profª Dr Rosane Falate, por sempre demonstrar segurança em guiar esta pesquisa para o rumo certo.

Aos demais professores do Programa de Mestrado em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, que abraçaram o projeto e foram de extrema importância durante o decorrer do curso.

Aos colegas do Mestrado, em especial a Joaquim Lima, Idomar Cerutti, Carlos Alberto Proença, Daurimar da Silva e a Regiane Orlovski, pelas inúmeras discussões, que com certeza adicionaram tanto à esta pesquisa quanto ao meu conhecimento, levando sempre a questionamentos e formas diferentes de abordar os problemas.

À SOCIDISCO, que foi parceira desta pesquisa, permitindo o uso dos seus equipamentos para testes bem como cedendo um funcionário para efetuar os testes finais, o que foi imprescindível para a conclusão deste trabalho.

Aos meus colegas de viagem, Elcio de Oliveira Cordeiro e Pedro Mitzco, por terem deixado seus afazeres para me auxiliar no decorrer destes dois anos.

À UEPG, por disponibilizar toda a sua estrutura, tanto para o programa de mestrado quanto para esta pesquisa, bem como pela qualidade dos professores, comprovada nas aulas.

À Uniguaçu e a Prefeitura Municipal de Porto União, que, entendendo a necessidade da constante evolução de seus funcionários/professores, viabilizaram a minha participação neste programa de curso.

A Vida é a Soma de Todas as Nossas Escolhas
(Albert Camus)

RESUMO

Atualmente, o processo de determinação da distância longitudinal de sementes em uma mesma linha de semeadura é manual e propenso a falhas. No caso do milho, a distribuição de sementes em distâncias inadequadas diminui a sua produtividade, influenciando o desenvolvimento das plantas, tanto pela estrutura do sistema radicular do milho, que não compensa as variações de distância como outras culturas fazem, quanto pela diminuição da quantidade de radiação solar que as plantas conseguem absorver quando estão muito próximas uma das outras. Considerando a importância de se medir a distância longitudinal de sementes e que esta medida é feita de forma manual atualmente, esta dissertação apresenta uma solução microcontrolada para ser adicionada em uma esteira de plantabilidade. O microcontrolador usado na solução é um Atmega 328, parte de um kit Arduino. A detecção das sementes foi feita utilizando um sensor industrial infravermelho fixo, modelo DFRobot RB-DFR-49, com distância sensora regulável, de forma perpendicular sobre a esteira. Com a solução adicionada à esteira de plantabilidade foi possível obter uma leitura precisa da distância entre as sementes, pela contagem do tempo decorrido entre cada detecção e a velocidade da esteira. Esse valor é então registrado na solução e repassado a um computador através de uma conexão USB. A partir da distribuição manual das sementes na esteira, o erro obtido na medida das distâncias foi, na média, de 0,19 cm, menos de 0,5% em uma distância de 40 cm entre sementes, como é o caso do milho. A validação da solução, quantidade de distâncias duplas e de distâncias falhas em um teste com 1000 sementes de milho, foi feita ao se comparar os resultados dela obtidos com aqueles de um teste manual, efetuado por um especialista desta função. Foi possível notar que em testes com poucas quantidades de duplas e falhas (6 e 5 em um teste, e 6 e 3 em outro teste, respectivamente), resultados foram idênticos à contagem manual. Nos testes cuja quantidade de erros é maior (32 duplas e 50 falhas), obtiveram-se resultados diferenciados (7 duplas e 28 falhas a mais, comparando-se com a leitura manual), evidenciando que a solução desenvolvida é mais precisa que pelo método tradicional (manual). Acredita-se que a solução pode auxiliar na seleção de discos dosadores, e na obtenção de um melhor estande final de plantas no campo, levando a uma maior produtividade.

Palavras-chave: *Zea Mays*, Automação Agrícola, Agricultura de Precisão.

ABSTRACT

Actually, the process of determining the longitudinal distance of seeds on the same planting line is manual and prone to failures. In the maize's case, the distribution of seeds in inadequate distances lowers its productivity, influencing in the plants development, both by the maize's root system, that doesn't make up to the variation of the distances, like some other cultures do, and by the lower amount of sun radiation that the plants can absorb when plants are too close to each other. Considering the importance of knowing the longitudinal distance of seeds and that that reading is made manually, this dissertation presents a microcontrolled solution to be used along with a plantability track. The microcontroller used in the solution is an Atmega 328, part of an Arduino. The seed detection was made using an industrial infrared sensor, model DFRobot RB-DFR-49, with adjustable sensing distance, fixed perpendicularly to the track. With the developed solution added to the track, it was possible to obtain a precise reading from the distance between each seed, by counting the time between each seed, plus the known speed of the rolling track. That value is then registered on the developed solution and passed to a computer through an USB connection. By comparing to the manual mattering, the medium error obtained was 0,90cm, less than 0,5% in a 40cm distance, as used in maize. The validation of the developed solution, amount of detected double spacing and fail spacing, was made by comparing the results obtained by the solution with those obtained by manual testing, made by an specialist on those tests. By doing that, it was possible to notice that in tests with low amounts of double and fail spaces (6 and 5 in a test, and 6 and 3 in the second), the results where the same to the manual accounting. In tests with bigger amounts of errors (32 doubles, 50 fails), the result was slightly different (more 7 doubles and 28 fails, when comparing to manual testing), what evidences that the developed solution is more precise than the manual measuring method. Its believed that the solution can help in the selection of planting disks, and to obtain a better plant stand in the field, what brings better productivity.

Keywords: *Zea Mays*, Agricultural Automation, Precision Agriculture.

LISTA DE SIGLAS

ANSI-C	<i>American National Standards Institute for the C Programming Language</i> (Instituto de Padrões Nacional Americano para a Linguagem de Programação C)
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CV	Coeficiente de Variação
DP.	Desvio Padrão
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i> (Memória Somente Leitura Apagável Eletronicamente)
GPL	<i>General Public Licence</i> (Licença Pública Geral)
KB	Kilobytes
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Display de Cristal Líquido);
RAM	<i>Random Access Memory</i> (Memória de Acesso Randômico)
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i> (Memória Estática de Acesso Randômico)
USB	<i>Universal Serial Bus</i> (Barramento Universal Serial)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Semeadora de Precisão	15
Figura 2 - Sulcos no solo para a distribuição de sementes.	15
Figura 3 - Esteira Utilizada em Testes de Plantabilidade	16
Figura 4 - Distanciamento Longitudinal (A) e Entre Linhas (B).....	17
Figura 5 - Disco Dosador Perfurado.....	18
Figura 6 - Uso da mesa densimétrica para classificação de grãos.	20
Figura 7 - Microcontroladores de tamanhos e capacidades diferentes.....	22
Figura 8 - Diagrama do Funcionamento de um Sensor Infra-vermelho	23
Figura 9 - Contadores Manuais.....	24
Figura 10 - Teste de Plantabilidade Efetuado por uma Pessoa.....	25
Figura 11 - Solução apresentada por Raheman e Singh.....	25
Figura 12 - Conjunto de sensores	26
Figura 13 - Solução apresentada por Kosher et al.	26
Figura 14 - Solução apresentada por Oliveira e Pinto (2007).....	27
Figura 15 - Disposição da camera na esteira.....	27
Figura 16 - Exemplo de imagem capturado pela camera	28
Figura 17 - Solução proposta for Orlosky, Guimarães e Justino	28
Figura 18 - Análise das imagens capturadas	29
Figura 19 - Arduino Uno.....	34
Figura 20 - Sensor Infra-Vermelho DFRobot RB-Dfr-49	35
Figura 21 - Funcionamento da distância sensora.....	36
Figura 22 - <i>Display</i> LCD 16x2	37
Figura 23 - Speaker	37
Figura 24 - Potenciômetro	38
Figura 25 - Botão	38
Figura 26 - Esteira para testes de plantabilidade utilizada	39
Figura 27 - Contador de Sementes	40
Figura 28 - Engrenagem que Efetua a Contagem.....	41
Figura 29 - Interface de Desenvolvimento Arduino, com o projeto aberto	42
Figura 30 - Serial Monitor em Funcionamento.	43
Figura 31 - Fluxograma do funcionamento do sistema.....	47
Figura 32 - Primeiro Tipo de Semente Utilizada nos Testes.....	50
Figura 33 - Segundo Tipo de Semente Utilizada nos Testes.....	50
Figura 34 - Terceiro Tipo de Semente Utilizada nos Testes.....	51
Figura 35 - Diagrama de Blocos do Funcionamento do Dispositivo	52
Figura 36 - Base de Altura Regulável para o Sensor	53
Figura 37 - Diagrama das Conexões dos Componentes Utilizados no Projeto.....	53
Figura 38 - Menu Inicial do Sistema.....	54
Figura 39 - Display durante um teste.	54
Figura 40 - Relatório Exibido ao Final de um Teste	55
Figura 41 - Gráfico da Evolução do Desvio Padrão de Uma Semente Durante o Teste.....	58
Figura 42 - Gráfico da Evolução do Desvio Padrão Durante o Teste	59
Figura 43 - Comparação de resultados do teste com o primeiro tipo de semente	60
Figura 44 - Comparação de resultados do teste com o segundo tipo de semente	60
Figura 45 - Comparação de resultados do teste com o terceiro tipo de semente	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medidas da Esteira	40
Tabela 2 - Dicionário de Dados enviados do Equipamento ao Computador.....	44
Tabela 3 - Opções Existentes no Menu Inicial do Sistema.....	47
Tabela 4 - Resultados Obtidos no Teste de 1.000 sementes.....	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo Geral	14
1.2	Objetivos Específicos	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Semeadoras de Precisão	15
2.2	Teste de Plantabilidade.....	16
2.3	Distanciamento Longitudinal de Sementes	17
2.4	Disco Horizontal Perfurado	18
2.5	Qualidade da Semente	19
2.6	Automação Agrícola.....	20
2.7	Microcontroladores	21
2.8	Sensores Ópticos	22
2.9	Métodos Para Determinação da Distribuição Longitudinal de Sem.....	24
2.10	A Cultura do Milho.....	29
2.10.1	Produtividade.....	30
2.10.2	Densidade	31
2.10.3	Espaçamento.....	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	Materiais	33
3.1.1	Arduino UNO	33
3.1.2	Sensor infra-vermelho	34
3.1.3	Display LCD 16x2	36
3.1.4	Buzzer	37
3.1.5	Potenciômetro	38
3.1.6	Botão táctil normalmente aberto.....	38
3.1.7	Esteira para testes de plantabilidade.....	39
3.2	Métodos.....	41
3.2.1	Interface de Desenvolvimento	41
3.2.2	Sistema de Comunicação.....	43
3.2.3	Códigos para conversão de valores e cálculos	44
3.2.4	Diagrama do Funcionamento do Software	46
3.2.5	Testes com a solução desenvolvida.....	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1	Descrição da Solução Desenvolvida	52
4.2	Testes e Validação da Solução Desenvolvida.....	55
4.2.1	Cálculos e a configuração da solução	55
4.2.2	Variação das leituras no decorrer de uma medição longa.....	56
4.2.3	Resultados da validação do equipamento comparado com testes manuais	59
4.2.4	Síntese e Discussão dos Resultados	61
5	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	64

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
APÊNDICE 1 – Dados Lidos no Teste de 1000 Sementes.....	68
APÊNDICE 2 – Código Fonte.....	70

1 INTRODUÇÃO

A distribuição longitudinal de sementes é uma das tarefas mais importantes no processo de semeadura de qualquer cultura, pois dependendo da semente a ser plantada, a distância entre uma planta e outra é diferente. As justificativas para buscar o valor ótimo da distância longitudinal de sementes estão na busca de um desenvolvimento adequado da planta e uma boa utilização do terreno (KURACHI et. al., 1993). Geralmente, a distribuição é o resultado da combinação entre a semente e o disco dosador perfurado (SILVA, 2003).

O método mais comum para a determinação da distância entre uma semente e outra é a forma manual, descrita por Jasper (2006). Depois de um período de treinamento, uma pessoa verifica a distribuição das sementes avaliando visualmente a distância entre cada par de sementes consecutivas. A contagem dos erros que ocorrem na distribuição das sementes se faz por meio de dois contadores, um em sua mão esquerda e outro na mão direita. O resultado dessa contagem permite verificar se um determinado disco dosador é adequado para certa semente ou não. Nesse tipo de levantamento de dados, a chance de ocorrência de erros é alta, além de ser cansativo para o operador e pouco preciso.

Este trabalho trata de pesquisar uma solução eletrônica para esse problema. Um dos primeiros impactos com o sistema funcionando adequadamente seria a diminuição da intervenção manual nos resultados. O segundo, é a retirada de operários de trabalhos repetitivos e morosos. Adicionalmente, a partir dessa solução, pode-se aplicar o sistema em outros fins como a comparação direta entre a uniformidade resultante de dois conjuntos de discos distintos ou de lotes de sementes diferentes.

Na literatura, foram encontrados artigos que abordam o mesmo problema, porém nenhum o aborda de forma profunda, nem apresentam formas práticas ou meios computacionais de analisar os resultados obtidos, necessitando muitas vezes da utilização de sistemas de terceiros para análise, sendo esta a principal contribuição trazida por esta pesquisa.

1.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma solução que, combinada com um ambiente de simulação adequado, seja capaz de auxiliar nos testes de “plantabilidade”, permitindo uma correta determinação do espaçamento longitudinal entre sementes dosadas por disco dosador perfurado.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa foram:

- Demonstrar a importância do distanciamento longitudinal de sementes na agricultura;
- Facilitar os testes de “plantabilidade” através de uma solução capaz de avaliar a distribuição longitudinal de sementes sem a necessidade de intervenção humana;
- Apresentar comparativos entre a precisão entre a solução desenvolvida e a medição manual da distribuição das sementes, a fim de atestar a viabilidade de sua utilização;
- Informar, além dos dados brutos da classificação e distância entre sementes, estatísticas que possam ser utilizadas para quantificar pequenas diferenças entre discos distintos (média, mediana, desvio padrão, entre outros) ou lotes de sementes diferentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Semeadoras de Precisão

Semeadoras de precisão (figura 1), conforme definidas por ABNT (1996), são máquinas agrícolas que depositam as sementes em sulcos (figura 2) em distâncias regulares, segundo a densidade de semeadura pré-definida, sendo que, em ambientes de plantio direto, elas também são responsáveis por cortar a palha e dosar o adubo (RIBEIRO, 1998; FONSECA, 1997).

Figura 1 - Semeadora de Precisão



Fonte: Semeato Semeadoras

Figura 2 - Sulcos no solo para a distribuição de sementes.



Fonte: GASSEN (2010)

A esse processo (de depositar as sementes) dá-se o nome de semeadura, sendo que ele é utilizado em culturas que utilizam sementes graúdas como órgãos de propagação, como é o caso da soja e do milho (FURLANI, LOPES e SILVA, 2005).

As semeadoras de precisão tem papel fundamental nas culturas que a utilizam, e seu correto funcionamento é um dos fatores decisivos na obtenção de um estande de plantas adequado, afetando diretamente a produtividade da cultura (KURACHI et. al., 1993).

2.2 Teste de Plantabilidade

O teste de plantabilidade é a medida executada com o objetivo de verificar o grau de plantabilidade de um determinado lote de sementes, a fim de classificar estas sementes para venda ou consumo. Esse teste também pode ser utilizado para determinar a eficiência da combinação dos discos dosadores perfurados com o uso de um mesmo lote de sementes (SCHUCH e PESKE, 2008). Para a realização desse tipo de teste utiliza-se um ambiente de simulação, constituído de uma esteira, na qual está acoplado o mesmo dispositivo utilizado para semeadura no campo (figura 3).

Figura 3 - Esteira Utilizada em Testes de Plantabilidade



Fonte: O Autor

Outros resultados possíveis de um teste de plantabilidade incluem o espaçamento médio e o coeficiente de variação, principalmente a fim de determinar

a uniformidade da distribuição (CELIK, OZTURK e WAY, 2007). Griepentrog (1998) afirmou que um coeficiente de variação de 20% pode ser considerado aceitável para dispositivos dosadores mecânicos e pneumáticos.

Mede-se então a distância em que uma semente cai da próxima, classificando-as de acordo com a distância que caíram em comparação à distância ideal, obtendo como resultado a quantidade de sementes que caíram em distância aceitável para a cultura em questão, próxima (a menos de 50% da distância ideal, chamada distância dupla) ou distante (a mais do dobro da distância ideal, chamada distância falha) (ABNT, 1996).

2.3 Distanciamento Longitudinal de Sementes

Chama-se distribuição longitudinal de sementes a distância entre cada uma das sementes de uma mesma linha, figura 4 (A), em um ambiente de cultivo qualquer. A uniformidade dessa distribuição é importante para garantir, além de um melhor aproveitamento da terra, refletido em uma maior produção, uma cobertura uniforme, sem deixar vazios. O produto final disso é a garantia de que cada planta vai possuir o espaço necessário para seu crescimento, evitando que plantas muito próximas concorram pelos mesmos nutrientes e pela mesma luz, ou evitando plantas dispostas de forma muito distante, o que acarreta em vazios na linha de semeadura que, além de diminuir a produtividade, propiciam também espaço para o desenvolvimento de plantas daninhas.

Figura 4 - Distanciamento Longitudinal (A) e Entre Linhas (B)



Fonte: SCHUCH e PESKE (2008), modificado

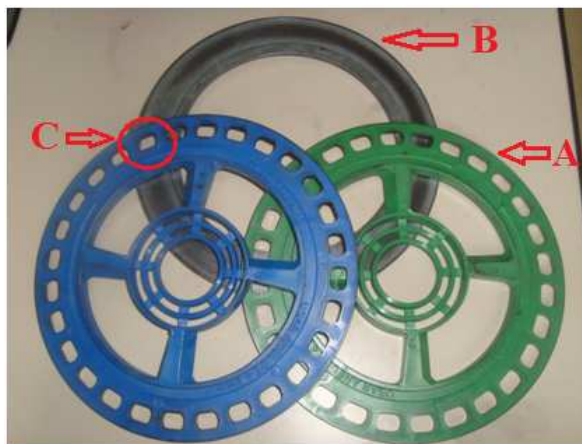
A distribuição longitudinal das sementes é obtida através da utilização de mecanismos dosadores, que acoplados às semeadoras de precisão (ABNT, 1996), são responsáveis por separar as sementes uma a uma, distribuindo-as a uma distância pré-definida. Segundo Silva (2003), o mecanismo dosador utilizado em 77,3% das semeadoras de precisão nacionais de tração mecânica é o disco horizontal perfurado.

Diversos fatores influenciam no distanciamento longitudinal das sementes resultantes de um determinado disco dosador: a velocidade da semeadora (SATTler et al, 1996), a classificação das sementes utilizadas (SANTOS et al, 2003), e a regulagem da semeadora (EMBRAPA, 1996), o que torna necessário o controle de cada um destes fatores. Schimandei et al. (2006) relata a necessidade de ações de pesquisa e extensão a fim de se obter uma maior uniformidade na distribuição longitudinal de sementes. O espaçamento entre as linhas (figura 4, B) é fixo, determinado pelo equipamento utilizado na semeadura.

2.4 Disco Horizontal Perfurado

O disco horizontal perfurado, também chamado de disco dosador (figura 5, A) é um disco com os orifícios nas bordas, cujos tamanhos e formatos são diferenciados para cada tipo de semente, a fim de proteger a semente contra danos e tentar garantir que somente uma semente seja depositada ao solo de cada vez.

Figura 5 - Disco Dosador Perfurado



Fonte: O Autor

A queda uniforme e adequada de sementes se dá utilizando-se a combinação entre um disco perfurado e um anel. O disco perfurado, contém diversos orifícios, que gira conforme a semeadora percorre o terreno, onde cada orifício é preenchido com uma semente. O anel, localizado na parte inferior, contém somente um orifício e é fixo (figura 5, B). Então, conforme o disco dosador gira, seus orifícios, preenchidos com sementes, alinham-se com o orifício do anel (figura 5, C), e a semente então é lançada ao solo.

2.5 Qualidade da Semente

Conforme visto na seção 2.3, um dos fatores que influenciam para uma boa distribuição das plantas no campo é a qualidade das sementes utilizadas, tanto pela sua uniformidade quanto pela sua taxa de germinação (SCHUCH e PESKE, 2008; SANTOS et al, 2003).

Para conseguir essa uniformidade nas sementes, elas são classificadas através de equipamentos próprios para este fim, como a mesa de gravidade ou densimétrica, figura 6. Nesse caso, sementes são separadas a partir de suas características físicas de acordo com a inclinação da mesa, que ainda possui diversas divisões no final, para que as sementes deslizem e sejam coletadas por uma destas divisões. Mais especificamente, em função do formato e do peso diferenciado de cada semente, cada uma delas irá fazer um percurso diferente ao deslizar nessa mesa, e nas divisões ficarão as sementes de características similares (BAUDET e MISRA, 1991).

Após essa classificação, é comum que cada um destes lotes seja analisado por meio do teste de plantabilidade antes de realmente ser colocado a venda. Depois desse teste, lotes que apresentem valores de falhas ou duplas acima de um limiar aceitável (por exemplo, acima de 3% de falhas ou 6% de duplas) são levadas novamente para a bancada de seleção, tentando, desta forma, diminuir o percentual de problemas e apresentando uma melhor orientação aos agricultores (SCHUCH e PESKE, 2008).

De fato, segundo Lima e Carmona (1999), o uso dessas técnicas de classificação sempre afeta a precisão da semeadura, e, conseqüentemente, a produtividade.

Figura 6 - Uso da mesa densimétrica para classificação de grãos.



Fonte: http://oextensionista.blogspot.com.br/2010_09_01_archive.html

Andreoli e Andrade (1998) explicam ainda que a baixa qualidade das sementes afeta, além do vigor das plântulas, o estande final, e consequentemente a produtividade da cultura. Experimentos realizados por Andreoli (2002) demonstraram que mesmo a utilização de uma maior quantidade de sementes (e consequentemente uma maior densidade de plantas) não compensa a má qualidade da semente.

2.6 Automação Agrícola

Segundo Silveira e Santos (2007), a automação é um conceito e um conjunto de técnicas utilizadas para a construção de sistemas ativos capazes de atuar com eficiência através da coleta e utilização de informações recebidas sobre o meio em que se encontram. Os autores também diferenciam o termo automação de automatização, ressaltando que, apesar da diferença sutil entre os nomes, a automatização referencia o movimento automático, repetitivo e mecânico, não recebendo e utilizando informações do meio em que se encontra introduzido, sendo esta a principal diferença encontrada entre eles.

Saraiva e Cugnasca (2000) demonstraram que sistemas automatizados estão sendo desenvolvidos para auxiliar os agricultores a monitorar o meio ambiente, identificar problemas, definir estratégias de intervenção e implementar planos de ação. Um exemplo desse tipo de sistema é o de sensoriamento computadorizado, ou seja, sistemas que possuem sensores, para coleta de informação; base

computacional, para armazenar dados e/ou ajudar na tomada de decisão; e atuadores, para realizar uma ação. Lobianco e Bornstein (2002) demonstram que sistemas com coleta de dados através de sensores e uma base computacional estão sendo posicionados nas propriedades ou nos implementos agrícolas. Eles monitoram mudanças meteorológicas, condições do solo, entre outras variáveis, a fim de oferecer dados a outros sistemas que apresentem planos e recomendações específicas ao produtor rural. Segundo Pazos (2005), outra forma muito utilizada de automação de sistemas é a robótica, que pode trazer novas possibilidades na agropecuária e na monitoração do meio ambiente.

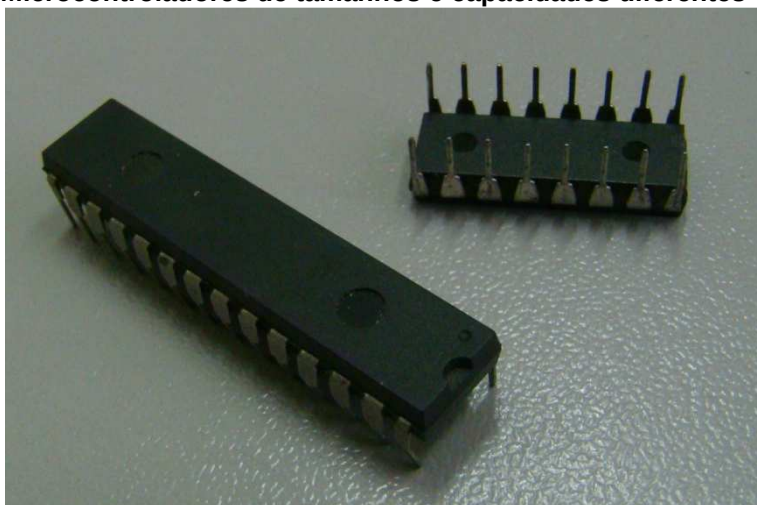
2.7 Microcontroladores

Um microcontrolador, figura 7, é um circuito integrado que possui diferentes dispositivos e periféricos internos, como um processador, conexões de entrada e saída e memória. Através de sua programação, um microcontrolador é capaz de controlar os sinais elétricos de suas saídas e ler valores de tensão em seus pinos estabelecidos como entrada. Talvez um dos maiores destaques dos microcontroladores é a possibilidade de se obter informações e realizar ações no meio em que está inserido, com praticamente este único componente eletrônico.

Considerando a variedade de opções de microcontroladores existentes no mercado, quando da realização de projetos deve-se elencar o que vai ser preciso ou necessário deste componente, para então escolher um microcontrolador específico e adequado para a aplicação. Algumas características e periféricos a serem observados são a quantidade de portas analógicas, quantidade de portas digitais, memória interna de programas e dados, velocidade de processamento, tipo de alimentação e periféricos como comunicação serial, USB (*Universal Serial Bus* – Barramento Universal Serial), conversores analógicos-digitais, entre outros, que podem ou não estar embutidos diretamente no microcontrolador (MARTINS, 2005).

Escolhido o microcontrolador, os próximos passos são: estudá-lo, para familiarizar com os registradores específicos do mesmo, periféricos e outras situações que sejam necessárias; escolher um ambiente de desenvolvimento de programas; e gravar ou embarcar o código elaborado no microcontrolador.

Figura 7 - Microcontroladores de tamanhos e capacidades diferentes



Fonte: O Autor

O programa a ser embarcado no microcontrolador é feito em um ambiente de desenvolvimento, que varia de acordo com a linguagem que o projetista vai usar. Uma vez que o programa esteja elaborado, parte-se para a compilação, onde o código escrito, após devidamente verificado, é transformado em um código executável pelo microcontrolador. Uma vez que se tenha esse código ele é gravado na memória interna do mesmo, sendo que isso pode ser feito diretamente pela interface de desenvolvimento utilizada ou pode ser necessária a utilização de algum *hardware* e *software* específicos para esta função, dependendo do microcontrolador escolhido.

Além dos microcontroladores propriamente ditos existem placas de desenvolvimento, também chamados de kits, que vem com um microcontrolador e todos os dispositivos necessários para fazê-lo funcionar, permitindo desta forma que o usuário preocupe-se apenas com os periféricos externos que deseja operar ou controlar o microcontrolador. Segundo MELLIS (2007), o objetivo desses kits é criar ferramentas que sejam acessíveis, de baixo custo, flexíveis e fáceis de serem utilizadas.

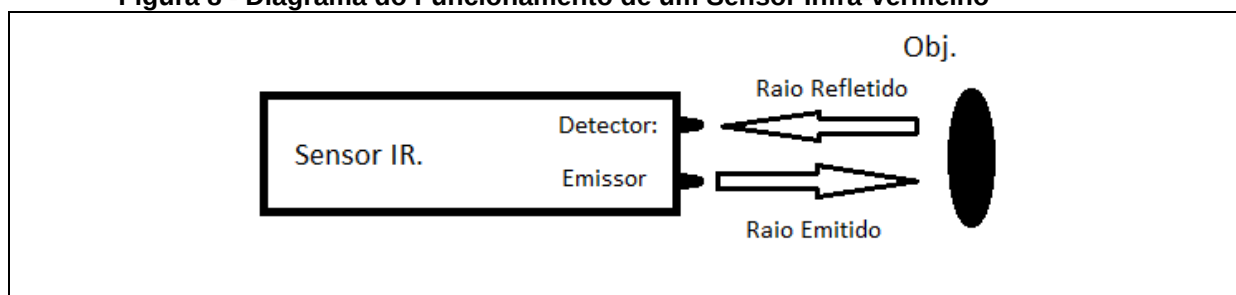
2.8 Sensores Ópticos

Segundo Pazos (2005), “um transdutor é um dispositivo que transforma uma forma de energia em outra adequada para fins de medida.” A parte sensível do transdutor é o sensor, que em muitos casos, com o auxílio de um circuito eletrônico,

mede a grandeza física e a transforma em um sinal elétrico. A título de simplificação, como realizado por Pazos (2002), este trabalho vai referenciar sensor tanto como a parte sensível do transdutor como todo o sistema que em geral produz uma grandeza elétrica proporcional à grandeza física medida. Borges (2005) explica que os sensores são extremamente importantes em sistemas atuais, permitindo que sejam recebidas informações sobre o ambiente, e que então um sistema responda de acordo.

Dentre os diversos tipos de sensores estão os sensores ópticos. Esses sensores possuem uma junção p-n semicondutora sensível a radiação eletromagnética, que permite a passagem de energia de acordo com a quantidade de luz aplicada à junção semicondutora (SOUZA e PEREIRA, 2006). Os sensores ópticos normalmente utilizam de dois dispositivos distintos, que podem ser integrados em um mesmo invólucro para facilitar o seu uso. Esses são um emissor infravermelho, na forma de um LED (*Light Emitter Diode* - Diodo Emissor de Luz), e um fotodiodo ou um fototransistor, responsável por detectar quando esta radiação eletromagnética refletida, representando desta forma que algum objeto encontra-se dentro de sua área de detecção. O princípio de funcionamento desse sistema de detecção de objetos está na figura 8.

Figura 8 - Diagrama do Funcionamento de um Sensor Infra-vermelho



Fonte: O Autor

Como o emissor utilizado normalmente é um LED, que possui luz difusa, que se espalha pelo espaço seguindo um ângulo de abertura pré-definido que varia de acordo com o modelo utilizado, faz-se necessário que o objeto a ser detectado encontre-se dentro de uma distância chamada distância sensora. Nessa distância, a luz refletida do objeto ainda possui intensidade suficiente para o detector responder adequadamente. Quando esse objeto está a uma distância maior que a distância

sensora, a luz que retorna ao detector não é intensa o suficiente para que o mesmo seja detectado, e o objeto passa despercebido pelo sensor.

2.9 Métodos Para Determinação da Distribuição Longitudinal de Sementes

A determinação da distribuição longitudinal de sementes pode ser feita tanto manualmente quanto por métodos automatizados.

O método manual, procedimento relatado por Jasper e sua equipe (2006) ou uma variação deste procedimento, onde duas pessoas são posicionadas no fim da esteira, cada uma com um contador manual (figura 9) em mãos, um para a quantidade de distâncias consideradas falhas e outro para a quantidade de distâncias duplas. A contagem destas distâncias é feita com a esteira de um ambiente de simulação em movimento e através de avaliação visual somente, sem a utilização de equipamento qualquer para medir as distâncias.

Por se tratar de uma avaliação visual, esses operadores precisaram ser treinados previamente. Adicionalmente, no caso apresentado, a avaliação é um pouco mais comprometida porque a percepção visual é diferente para cada indivíduo.

Uma variação do método manual relatado por Jasper et al (2006) é quando uma mesma pessoa faz as contagens de duplas e falhas, pois uma das mãos do operador fica o contador para a ocorrência de falhas e na outra um contador para o caso de duplas, caso exibido na figura 10.

Figura 9 - Contadores Manuais



Fonte: O Autor

A vantagem nesse caso é que, por se tratar de uma só pessoa fazendo o teste, tem-se uma única percepção visual, diminuindo a possibilidade de diferenças

de interpretação entre os dois operadores. Entretanto, também deixa o teste mais difícil de ser executado pelo operador, necessitando mais atenção e destreza, por ter que conferir ambos os problemas e saber exatamente qual dos contadores utilizar para anotar a ocorrência de duplas e de falhas.

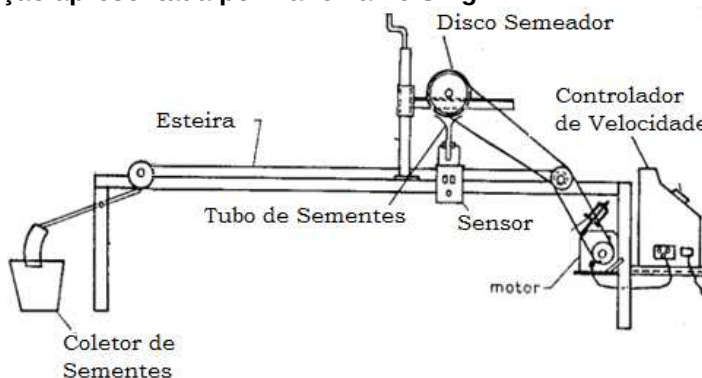
Figura 10 - Teste de Plantabilidade Efetuado por uma Pessoa



Fonte: O Autor

Como soluções automatizadas para a determinação do distanciamento longitudinal entre as sementes, Raheman e Singh (2003) propuseram o uso de um sensor foto-eletrônico para detectar a passagem das sementes na esteira, porém este não efetua a contagem da distância entre as sementes, apenas detectando se estão passando sementes, e disparando um sinal caso nenhuma semente seja detectada por alguns segundos. Esta solução é apresentada na figura 11, onde é possível notar a disposição dos equipamentos na esteira e o posicionamento do sensor, responsável pela leitura dos dados.

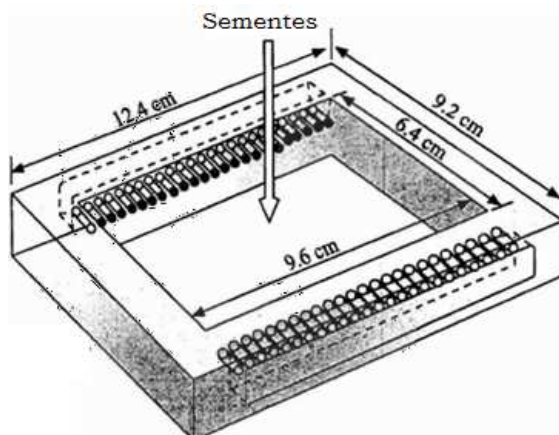
Figura 11 - Solução apresentada por Raheman e Singh



Fonte: Raheman e Singh (2003), modificado

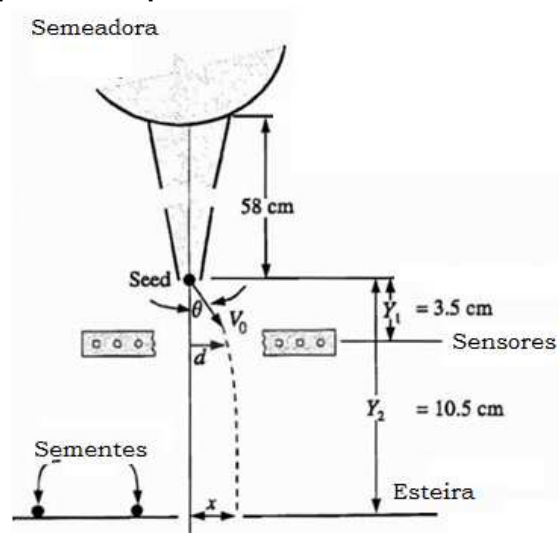
Kocher e sua equipe (1998) usaram de um conjunto de sensores foto eletrônicos (figura 12) para detectar a semente durante sua queda, ajustando através de cálculos matemáticos os valores obtidos (figura 13), a fim de compensar os diferentes ângulos e velocidades de queda das sementes. Ou seja, eles verificaram que há diferença entre as medições no ar e na esteira e que a medida que deve ser considerada é a da esteira. A taxa de erro obtida (entre as medidas corrigidas e as medições manuais) nesses experimentos foi inferior a 0,01%.

Figura 12 - Conjunto de sensores



Fonte: Kocher et al (1998), modificado

Figura 13 - Solução apresentada por Kosher et al.



Fonte: Kocher et al (1998), modificado

Ainda utilizando sensores ópticos, Oliveira e Pinto (2007) utilizaram um sensor do Kit Lego MINDSTORMS 9793 para efetuar a leitura da passagem das sementes, conforme elas se deslocavam em uma esteira miniatura, funcionando a

0,73 km/h. Essa pesquisa obteve um erro médio na medida das distâncias de 4,3%, com um percentual de sementes não detectadas que variou de 5% à 20%, em testes com 63 a 210 sementes. A figura 14 apresenta esta solução, com os dispositivos do kit lego e a esteira miniatura utilizada.

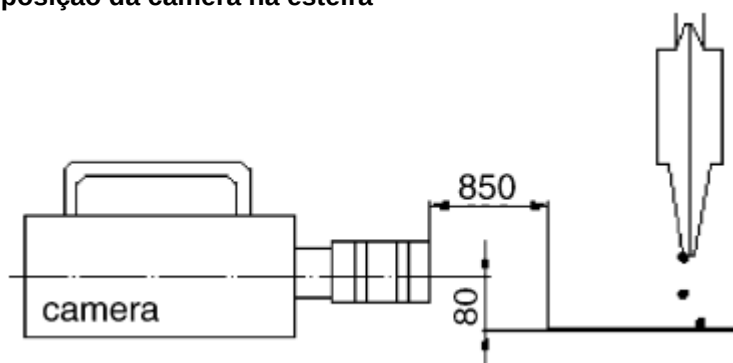
Figura 14 - Solução apresentada por Oliveira e Pinto (2007)



Fonte: Oliveira e Pinto (2007), modificado

Outro método encontrado na literatura foi proposto por Karayel et al (2006), que usou de uma câmera de vídeo de alta velocidade para capturar imagens das sementes enquanto elas caíam. A disposição da câmera na esteira é apresentada na figura 15.

Figura 15 - Disposição da camera na esteira

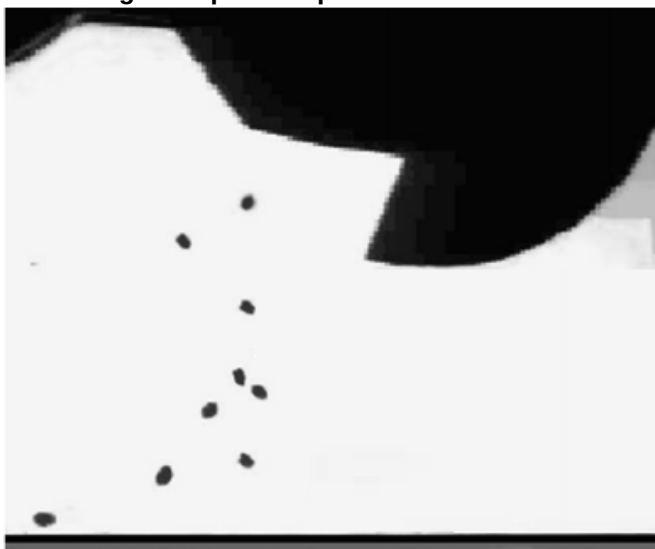


Fonte: Karayel et al (2006), modificado

Essas imagens foram então passadas para o computador, que fez os cálculos necessários para obter a distância longitudinal, e apresentando os resultados obtidos. Com esse método foi conseguido uma taxa de erro de aproximadamente

5% com relação às medições manuais, evidenciando a necessidade da correção dos dados medidos no ar, conforme sugerido por Kocher e sua equipe (1998). a figura 16 apresenta um exemplo de uma imagem capturada pela câmera utilizada nesta solução.

Figura 16 - Exemplo de imagem capturado pela camera



Fonte: Karayel et al (2006), modificado

Ainda utilizando a análise de imagens, Orlosky, Guimarães e Justino (2009) obtiveram sucesso em calcular a distância entre sementes, que eram fotografadas através de uma câmera acoplada a esteira (figura 17).

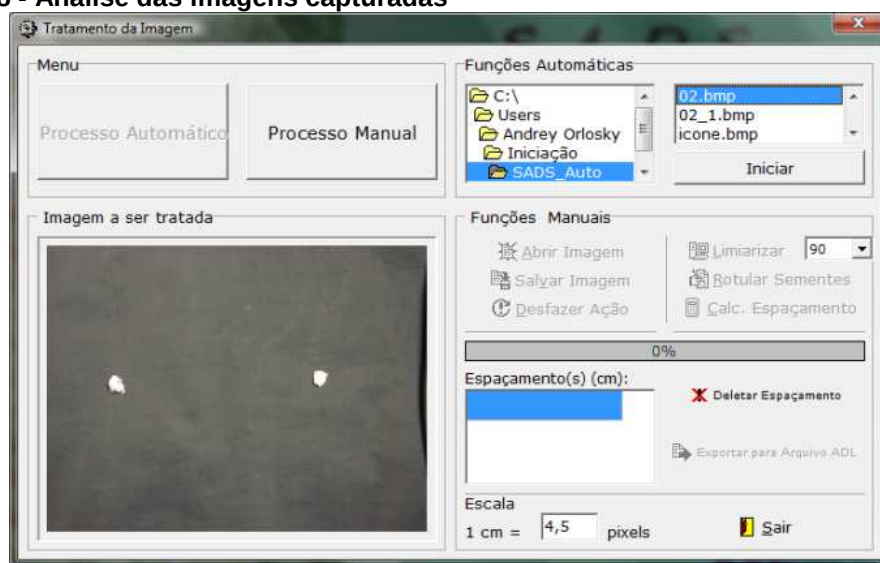
Figura 17 - Solução proposta for Orlosky, Guimarães e Justino



Fonte: Orlosky, Guimarães e Justino (2009).

Neste caso, o processo de cálculo utilizado ocorre de forma manual, após a captura das imagens, e não na forma de vídeo, como ocorre no método proposto por Karayel (2006), necessitando de escolha manual de quais imagens vão ser analisadas (figura 18), o que torna o processo complicado e impreciso. Esse método também obteve problemas com sementes muito próximas, e necessita de uma regulagem manual para converter os pixels das imagens em centímetros.

Figura 18 - Análise das imagens capturadas



Fonte: Orlosky, Guimarães e Justino (2009).

2.10 A Cultura do Milho

O milho (*Zea mays*) é um dos cereais mais conhecidos, sendo cultivado em grande parte do mundo. Ele é utilizado extensivamente como alimento, tanto humano quanto para a fabricação de ração animal, principalmente devido às suas qualidades nutricionais, sendo responsável por grande parte do total anual de proteínas e calorias consumidas (FORNASIERI FILHO, 2007).

A planta de milho possui um sistema radicular típico das gramíneas, com raízes seminais que se desenvolvem desde o embrião, e das raízes permanentes, que surgem de maneira progressiva. Seu colmo, o caule da planta, é constituído de nós e entrenós, suportando uma série de folhas dispostas alternadamente, uma para cada lado, inseridas nos nós, de onde se originam também as espigas (FANCELLI e DOURADO NETO, 2004).

De alto potencial produtivo, esta cultura responde muito bem à avanços tecnológicos, trazendo melhorias visíveis em sua produtividade, tendo a produção mundial de milho do ano de 2010 atingido mais de 720 milhões de toneladas. Tem como maior produtor mundial os Estados Unidos, responsável por quase 40% (331 milhões de toneladas) da produção mundial, seguido pela China, com 18,6% e pelo Brasil, que foi responsável por 6,6% desta produção (56 milhões de toneladas), de acordo com a CONAB (2011), sendo valor este semelhante ao produzido por toda a União Européia no mesmo ano (57 milhões de toneladas) (FORNASIERI FILHO, 2007; USDA, 2011).

2.10.1 Produtividade

O milho é uma cultura que depende de uma fertilidade adequada do solo, necessitando de que ele esteja bem preparado e de uma quantidade de água bem distribuída durante seu ciclo. Logo, quando essas necessidades são supridas, é uma cultura que apresenta excelentes resultados, refletidos em grandes produções. Por outro lado, variação nesses quesitos provoca grandes contrastes em sua produtividade. Por exemplo, no Brasil há estados com médias de produção tão baixas que não chegam a meia tonelada por hectare, como é o caso do Ceará, que teve uma média de 327kg/ha na safra de 2010. Isso é explicado principalmente pelo cultivo para consumo próprio, onde o produtor não investe em tecnologia ou no preparo da terra, cultivando simplesmente para alimento próprio e de sua família, bem como dos animais de sua fazenda. Por outro lado, há estados com médias de produção muito superiores, como é o caso de Goiás, que teve uma média maior que 7.000kg/ha, e do Paraná, com uma média pouco acima de 5.800kg/ha⁻¹, segundo a CONAB (2012).

Em se tratando de valores por propriedade, ainda no Brasil, é possível encontrar cases com produção superiores a 12 toneladas por hectare, sendo que, em nível mundial, encontra-se nos Estados Unidos médias próximas das 10 toneladas por hectare, superiores às obtidas no Brasil. Esses valores são explicados pela grande fertilidade de seus solos, pela tecnologia aplicada em suas lavouras, pela grande aplicação de nitrogênio e de outros compostos no solo, e também pela

pequena quantidade de produtores pequenos, que tendem a diminuir a média (USDA, 2012).

2.10.2 Densidade

A densidade de plantio do milho (quantidade de plantas por hectare) é definida normalmente pela disponibilidade hídrica da região e pelo cultivar selecionado, além da fertilidade do solo e da quantidade de chuvas, sendo que, quanto mais chuvas, e mais bem espalhadas durante seu ciclo, maior a densidade possível (AMARAL FILHO et al, 2005). Em média, recomenda-se uma densidade de 50 a 70 mil plantas por hectare, valor este que diminui para 40 a 45 mil para o milho safrinha, principalmente pela menor disponibilidade hídrica do período, com exceção de quando se utiliza a irrigação. Nesse caso podem-se utilizar densidades tão altas quando a da primeira safra (PENARIOL et al, 2003).

2.10.3 Espaçamento

O espaçamento entre as linhas e entre as plantas de uma mesma linha são os fatores que determinam a densidade resultante de uma lavoura. Para o milho tradicionalmente utiliza-se um espaçamento entre linhas de 80 cm a 100 cm, para garantir espaço suficiente entre as linhas para que uma pessoa seja capaz de passar entre elas. A distância entre as plantas na mesma linha, nesse caso, é diminuída para 20 cm, para garantir uma densidade alta.

Outra distância muito utilizada hoje é entre 40 cm a 45 cm entre as linhas (REZENDE, VON PINHO e VASCONCELOS, 2003), principalmente por ser a mesma distância utilizada na soja, o que permite que o equipamento de semeadura seja utilizado sem a necessidade de modificações. Nesses casos, a distância entre plantas na mesma linha é de 40 cm, a fim de garantir que a densidade por hectare mantenha-se praticamente a mesma. Segundo Amaral Filho et al. (2005), com essa redução do espaçamento entre linhas de semeadura otimiza-se a eficiência da interceptação de luz e obtém-se uma melhora no aproveitamento de água e nutrientes. Molin (2000) também afirma esse aspecto, assegurando que além da

densidade propriamente dita, o espaçamento entre as plantas interfere na concorrência entre elas, tanto por nutrientes do solo, quanto por radiação solar, reduzindo a competição inter e intraespecífica, levando a uma maior quantidade de matéria seca e produção de grãos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para o desenvolvimento da solução proposta foi necessária a utilização de alguns dispositivos eletrônicos, descritos no decorrer deste capítulo, sendo o Arduino UNO o núcleo da solução, onde se encontra o microcontrolador utilizado. Ele foi o componente responsável por fazer com que todos os outros dispositivos trabalhem adequadamente para atingir o objetivo desta pesquisa. Para a obtenção dos dados foi utilizado um sensor infravermelho, e para a saída dos dados foi escolhido um display LCD de 16 colunas com duas linhas, além da saída USB do próprio Arduino para repassar os dados obtidos para um computador pessoal e assim ser possível analisá-los detalhadamente.

3.1.1 Arduino UNO

O Arduino é, segundo a página do projeto (ARDUINO, 2012), uma plataforma *open-source* de prototipação de eletrônicos baseado em hardware e software, sendo que o Arduino UNO é a versão atual deste dispositivo. É composto por um microcontrolador ATmega 328, podendo ser alimentado através de uma conexão USB com um computador qualquer, ou de forma independente, utilizando-se de uma bateria de 9 V ou uma fonte de alimentação padrão de 6 V a 12 V. Contém também memória flash interna de 32KB, que é utilizada para armazenar o programa a ser executado, além de 2KB de SRAM e 1KB de memória EEPROM. A frequência de clock do circuito é de 16 MHz.

A interação com outros componentes se dá através dos 14 pinos de entrada e saída digital e dos 6 pinos de entrada analógica, contendo conversores analógicos digitais de 10 bits internamente.

Por se tratar de um projeto *open-source*, os diagramas esquemáticos do Arduino estão disponibilizados na página do projeto, sendo que qualquer pessoa pode consultá-los para construir seu próprio Arduino, e o hardware licenciado sob uma licença *Creative Commons* e o Software com a licença GPL, ambas permitindo uso pessoal ou comercial do dispositivo. A figura 19 mostra a placa do Arduino UNO utilizada no desenvolvimento desta pesquisa.

Figura 19 - Arduino Uno



Fonte: www.arduino.cc (2012)

Esta plataforma foi escolhida para esta pesquisa tendo em vista que apresenta internamente, diversos periféricos necessários, como conversor analógico digital e o oscilador, além de sua facilidade de uso, apresentando uma interface integrada de desenvolvimento. Esta interface permite, além de escrever o código fonte, a compilação e o *upload* do programa para o microcontrolador sem a necessidade de utilização de qualquer outro dispositivo, bastando ligá-lo ao computador utilizado através da porta USB, possibilitando inclusive que seja alimentado diretamente por esta conexão.

Para esta pesquisa, foram utilizadas oito das entradas/saídas digitais do Arduino, uma das entradas analógicas, interface USB e o conversor analógico-digital de 10bits. Optou-se também por utilizar o oscilador interno do próprio Arduino, operando a 16MHz.

3.1.2 Sensor infra-vermelho

O sensor infra-vermelho escolhido para o desenvolvimento da pesquisa é um sensor infravermelho ajustável DFRobot RB-Dfr-49, figura 20, composto por um transmissor e um receptor infra-vermelho, com distância sensora ajustável de 3 cm a 80 cm. Ele pode ser alimentado com tensões entre 3,2 V e 6,0 V, e o sinal de saída (figura 20, S), é um sinal digital que indica a presença ou não de obstáculos dentro

da distância configurada. O equipamento, bem como o diagrama das conexões do mesmo, pode se visto na figura 20.

Figura 20 - Sensor Infra-Vermelho DFRobot RB-Dfr-49



Fonte: O Autor

Nessa pesquisa foi utilizada uma tensão de alimentação de 5 V no sensor, disponibilizada pelo arduino, tendo assim um sinal de saída do sensor de 0 V, quando nenhum objeto é detectado, e de 5 V, quando um objeto é encontrado, de forma digital.

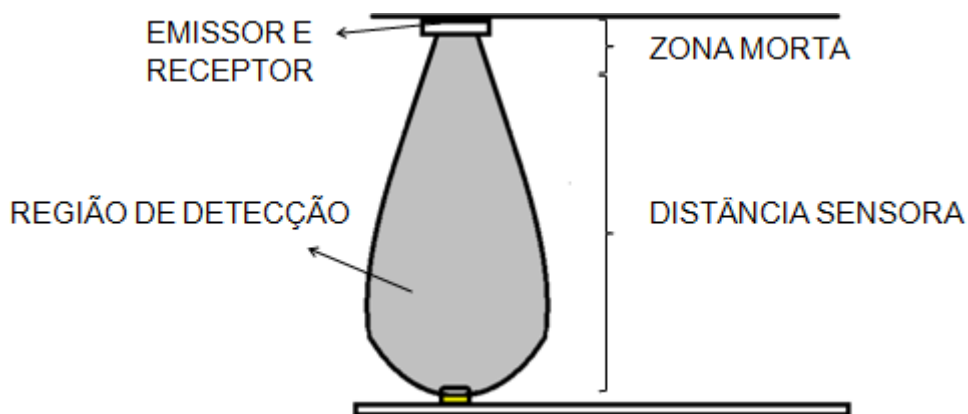
A área em que este sensor detecta os objetos é circular, aumentando conforme ele é distanciado da superfície. A uma altura de 3 cm, este círculo possui um raio de aproximadamente 2,5 cm, sendo que os objetos, para serem detectados, devem passar dentro deste círculo. Ainda, dois objetos muito próximo um do outro (aproximadamente 1 cm de distância) podem ainda ser detectados como um só, principalmente caso estejam se tocando.

A principal funcionalidade deste sensor, e o fator determinante para sua escolha, é o ajuste da distância sensora, o que é feito através de um pequeno parafuso localizado na face oposta à superfície sensora deste componente. Essa funcionalidade permite que seja configurada a distância em que o sensor se encontra do objeto. Assim, o sensor é posicionado a fim de detectar corretamente as sementes, porém sem detectar as variações de cor que ocorrem na esteira, localizada abaixo

A figura 21 demonstra a região de operação da distância sensora, região a qual o objeto deve estar para ser detectado pelo sensor. Fora dessa região, a luz

refletida pelo objeto é insuficiente para o receptor ser excitado e o objeto não é detectado, na figura, representado pela base.

Figura 21 - Funcionamento da distância sensora



Fonte: O Autor

Por este motivo deve também ser evitada a instalação do sensor em uma posição onde a esteira balance na vertical, alterando desta forma a distância de sua superfície até o sensor, o que faria esta superfície entrar na distância sensora, detectando-a, o que não é desejado.

3.1.3 Display LCD 16x2

O *display* LCD é um dispositivo de saída de dados que permite que sejam exibidos, de forma visual, informações para o usuário. Foi utilizado no projeto para criar uma forma de comunicação onde é possível, além da configuração do teste a ser realizado, acompanhar o andamento do teste, recebendo informações atualizadas sobre a quantidade de sementes já testadas, bem como a quantidade de distâncias duplas ou falhas.

O *display* LCD utilizado nesta pesquisa possui duas linhas de 16 colunas cada, e a sua conexão é feita através de 14 conexões, que recebem diversas informações, como o contraste e o modo em que o display se encontra (escrita ou travado); além de 4 conexões para energia, tanto do display quanto da luz de fundo (0 e 5 V); e 8 canais de dados, sendo utilizados, neste projeto, apenas quatro destes canais (DFROBOT, 2012). A funcionalidade de cada uma destas conexões, bem como uma imagem do dispositivo, estão na figura 22.

Figura 22 - Display LCD 16x2

PIN	SYMBOL	FUNCTION
1	Vss	GND
2	Vdd	+ 3V or + 5V
3	Vo	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register Select Signal
5	R/W	H/L Read/Write Signal
6	E	H → L Enable Signal
7	DB0	H/L Data Bus Line
8	DB1	H/L Data Bus Line
9	DB2	H/L Data Bus Line
10	DB3	H/L Data Bus Line
11	DB4	H/L Data Bus Line
12	DB5	H/L Data Bus Line
13	DB6	H/L Data Bus Line
14	DB7	H/L Data Bus Line
15	A/Vee	+ 4.2V for LED/Negative Voltage Output
16	K	Power Supply for B/L (OV)



Fonte: O Autor

3.1.4 Buzzer

Outro dispositivo de saída utilizado na solução é o *buzzer* (figura 23). Quando acionado, esse dispositivo emite sinais sonoros. Na solução desenvolvida, é utilizado para emitir um pequeno sinal (BEEP) a cada semente detectada, permitindo que o usuário saiba o que a solução está detectando. Também é usado para sinalizar o final do teste através de uma sequência de três BEEPs, podendo o operador saber que o teste terminou sem a necessidade de ficar acompanhando no display.

O acionamento do *buzzer* se dá ao se aplicar tensão entre os fios vermelho (positivo) e preto (negativo), figura 23.

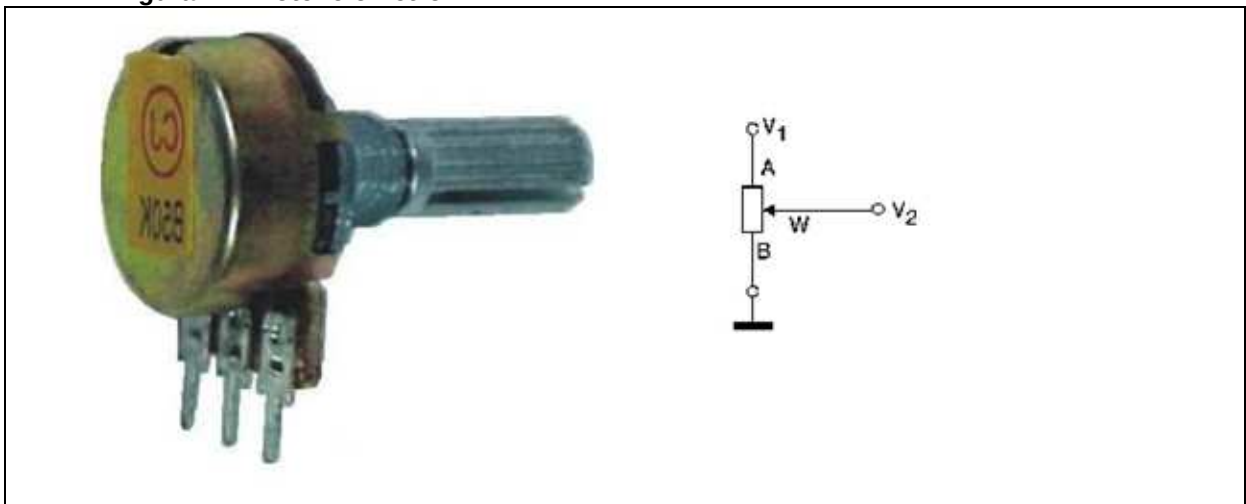
Figura 23 - Speaker

Fonte: O Autor

3.1.5 Potenciômetro

Para permitir a navegação pelo menu da solução desenvolvida, antes do início do teste, foi escolhido um potenciômetro. O potenciômetro pode ser considerado um sensor de posição “cujo princípio de funcionamento se baseia na variação de resistência” (PAZOS, 2002), que ocorre quando a posição de seu eixo se altera. Desse modo, ao conectar adequadamente o potenciômetro a uma fonte de tensão, é possível converter as alterações de resistência em variações de tensão. A figura 24 demonstra um potenciômetro, bem como a conexão utilizada neste trabalho, sendo que a variação de tensão é obtida entre os terminais W e B.

Figura 24 - Potenciômetro



Fonte: O Autor

3.1.6 Botão tátil normalmente aberto

O botão tátil normalmente aberto (figura 25) é uma chave miniatura, com um contato que se aciona como uma alavanca quando pressionado.

Figura 25 - Botão



Fonte: O Autor

Pazos (2002) explica que é necessário o contato físico do usuário com a alavanca, que deve movimentar-se alguns milímetros para ser ativada, permitindo a passagem de tensão entre seus conectores, o que para de ocorrer quando ela é solta.

3.1.7 Esteira para testes de plantabilidade

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizada uma esteira para testes de plantabilidade desenvolvida pela empresa SOCIDISCO (figura 26). Essa esteira opera com 110 V e possui um motor de 0,5 CV de 4 pólos com redutor monofásico, para efetuar o movimento de uma lona revestida com feltro. A velocidade de deslocamento da esteira é regulável, sendo que para os testes executados foi adotada uma velocidade de 3,6 km/h, compatível com a velocidade de semeadura em campo (SOCIDISCO, 2012).

Figura 26 - Esteira para testes de plantabilidade utilizada



Fonte: Página da Fabricante

Essa esteira, conforme visto na seção 2.2, simula uma semeadora, onde é possível acoplar os discos dosadores perfurados e medir a distância longitudinal entre sementes resultante na esteira.

Algumas especificações e medidas da esteira usada neste trabalho estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Medidas da Esteira

Comprimento Aberta	3.750 mm
Comprimento Fechada	1.200 mm
Largura	350 mm
Altura	600 mm
Área útil da esteira (tubo à ponta)	2.650 mm
Profundidade do Sulco	80 mm

Fonte: Página da Fabricante

3.1.7.1 Contador de Sementes da Esteira

A esteira utilizada possui contador de sementes, a fim de que seja possível configurar um teste com determinado número de sementes. Esse contador pode ser visualizado na figura 27.

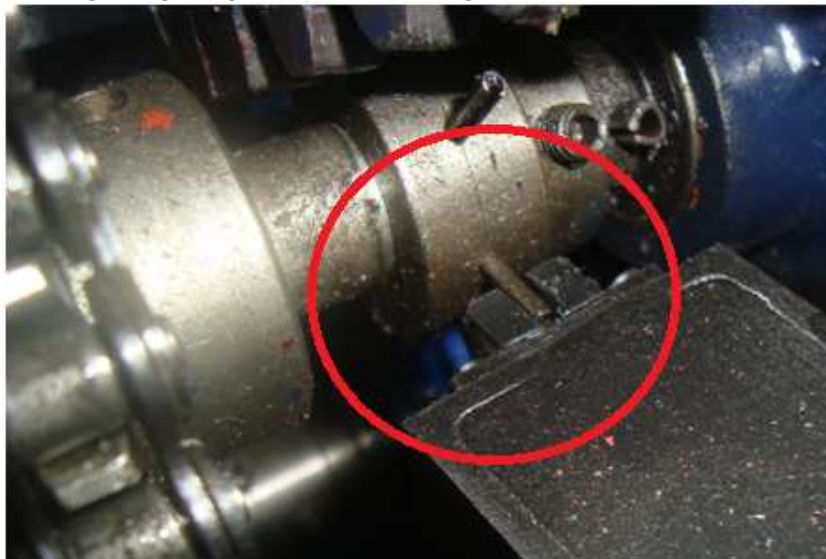
Figura 27 - Contador de Sementes

Fonte: O Autor

Para isso, ele utiliza de um anel, com marcadores correspondentes ao número de furos do disco dosador, figura 28, que vai rodando conforme o disco dosador gira. A contagem de sementes é incrementada de uma unidade cada vez que os orifícios de ambos os discos ficam alinhados, que é quando a semente cai para o solo. O sistema esteira-contador está configurado de maneira que, ao se

chegar a quantidade desejada de sementes no contador, a esteira é desligada completamente.

Figura 28 - Engrenagem que Efetua a Contagem



Fonte: O Autor

Com essa abordagem é possível obter uma contagem aproximada das sementes, porém, ela não leva em consideração se não há semente no orifício do disco dosador, contando como uma semente quando ocorre uma falha. Da mesma forma, quando duas ou mais sementes passam de uma vez só pelos orifícios (duplas) é contada uma só semente.

Além dessa divergência de contar os orifícios do disco e não realmente a quantidade de sementes "semeadas", esse contador desliga automaticamente a esteira assim que alcança a quantidade de sementes desejada, sem que, necessariamente, todas tenham percorrido completamente o caminho na esteira. Por este motivo sempre sobram várias sementes na superfície da esteira.

3.2 Métodos

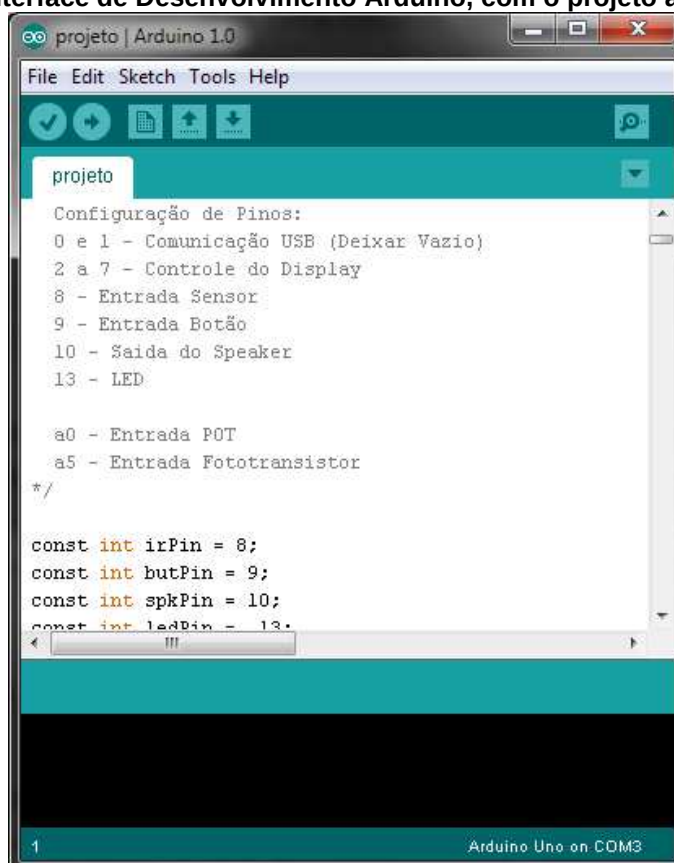
3.2.1 Interface de Desenvolvimento

O desenvolvimento do software, responsável por controlar o microcontrolador escolhido, foi realizado em uma interface de desenvolvimento chamada de Arduino,

mesmo nome da placa principal utilizada no projeto, sendo que esta interface foi desenvolvida especificamente para a criação de projetos para o Arduino, figura 29.

Essa interface, além de criar uma maneira padrão para o desenvolvimento dos programas para o Arduino, oferece suporte a todos os recursos da placa, permitindo facilidades no desenvolvimento da solução, como opções para compilar e enviar o programa elaborado diretamente para a placa utilizada.

Figura 29 - Interface de Desenvolvimento Arduino, com o projeto aberto



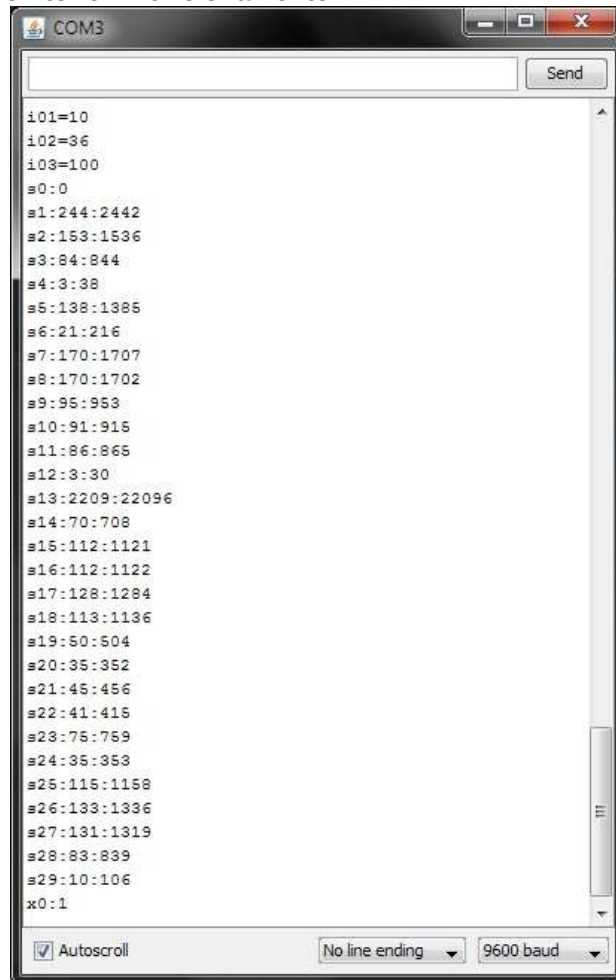
Fonte: O Autor

Outra função importante da interface de desenvolvimento utilizada é a opção "*Serial Monitor*", que permite monitorar a entrada de dados pela porta USB, a fim de receber os dados enviados pela solução desenvolvida. Dessa forma dispensa-se, em um primeiro momento, o desenvolvimento de um software específico para efetuar o recebimento destes dados. Um exemplo de recebimento de informações pelo *Serial Monitor* está na figura 30.

A linguagem utilizada no desenvolvimento da solução é chamada de *Wiring*, uma linguagem de programação voltada para microcontroladores baseada na

linguagem C, que, na prática, funciona como a linguagem ANSI-C padrão, com bibliotecas adicionais voltadas para o controle das funções específicas do Arduino.

Figura 30 - Serial Monitor em Funcionamento.



Fonte: O Autor

3.2.2 Sistema de Comunicação

No desenvolvimento desta pesquisa, a fim de permitir o envio de informações do arduino para o computador, foi utilizada uma conexão USB. A porta USB é uma interface de comunicação serial que vem se tornando padrão de mercado, principalmente por sanar as antigas dificuldades associadas com o custo, configuração e ligação de dispositivos a interfaces de comunicação do computador, criando um método simples de ligar e acessar dispositivos ao computador, voltado ao usuário final (ANDERSON, 1997).

Para padronizar esta comunicação, foi desenvolvido um protocolo padrão de comunicação, que envia os dados de acordo com a tabela 2.

Tabela 2 - Dicionário de Dados enviados do Equipamento ao Computador

Dado Enviado	Significado	Exemplo
i01:XX	Distância ideal entre as sementes, em centímetros (Configuração)	i01=10
i02:XX	Velocidade em (m/s)X10 (Configuração)	i02=36
i03:XXX	Quantidade de Sementes (Configuração)	i03=100
s0:0	Início do Teste	s0:0
sX:YYY:ZZZZ	Semente X, Distância YYY (cm X 10), Tempo ZZZZ	s10:91:915
x0:0	Fim normal do Teste	x0:0
x0:1	Teste Cancelado pelo Usuário	x0:1

Fonte: O Autor

Toda a comunicação entre a solução desenvolvida e o computador segue o padrão descrito pela tabela 2, uma informação em cada linha, sendo que, em cada teste são enviados primeiro as configurações utilizadas no teste (i01, i02 e i03) e então um sinal de início de teste (s0:0). A partir desse ponto, são enviados os dados de distância entre cada semente à medida que eles forem coletados, sendo que cada semente é numerada de forma individual, a fim de permitir a continuação da coleta de dados mesmo que ocorra alguma perda de informações no meio da comunicação.

Deve-se notar também que os dados de velocidade e distância são repassados multiplicados por 10, devendo desta forma ser dividido por 10 quando recebido pelo computador.

3.2.3 Códigos para conversão de valores e cálculos

Para o desenvolvimento da corrente pesquisa foram utilizadas diversas operações matemáticas a fim de se obter os dados necessários: a velocidade da esteira em metros por segundo, distâncias limite para duplas e falhas, e a conversão

dos dados lidos pelo sensor em distância, a fim de efetuar a comparação com os limites. Nessa seção, essas fórmulas serão apresentadas na forma de código fonte, exatamente como são utilizadas no sistema desenvolvido, a fim de permitir uma visualização mais real da forma com que os dados são tratados na execução do programa, garantindo também que todos os dados estejam na mesma unidade de medida.

Os primeiros cálculos (quadro 1) efetuados são para preparar os dados, recebidos na configuração do sistema, para serem utilizados durante a leitura, a fim de garantir que quando os dados forem recebidos, as configurações já estejam nas mesmas unidades de medida, permitindo sua utilização direta. Esses dados são o de transformar a velocidade da esteira, lida em km/h, para metros por segundo, velMs; o da distância mínima entre as sementes, distdup, antes de ser considerado uma dupla, e da distância máxima entre as sementes, distfal, antes de ser considerado uma falha (seção 2.2).

Quadro 1 – Código para preparação de dados

```
velMs = vel/3.6;  
distdup = dist/2.0;  
distfal = dist*1.5;
```

Fonte: O Autor

O primeiro cálculo do quadro 1 transforma a velocidade da esteira, lida em quilômetros por hora, para metros por segundo. A segunda e a terceira operações são para criar os limiares a serem utilizados para determinar quais das distâncias são duplas (distância menor que "distdup") e quais das distâncias são falhas (distância superior a "distfal"), sendo que "dist" e "vel" são, respectivamente, a distância ideal entre cada semente e a velocidade da esteira, obtidos diretamente da configuração inicial do sistema, que pode ser modificada pelo usuário no menu inicial.

O próximo conjunto de cálculos, quadro 2, demonstra as conversões necessárias para preparar os dados para a classificação da distância em dupla ou falha, e são executados a cada semente detectada a partir da segunda, sendo a sua principal função transformar o intervalo de tempo entre as duas sementes em uma distância, medida em centímetros.

Quadro 2 – Código para cálculo da distância

```

DISTMS = MILLIS()-LASTSEM;
DISTSEC = DISTMS/1000.0;
DISTM = DISTSEC * VELMS;
DISTCM = DISTM*100.0;
DISTCMM = DISTCM*10.0;

```

Fonte: O Autor

O primeiro cálculo do quadro 2 obtém a distância inferida em milissegundos (DISTMS) entre a semente atual (MILLIS()) e a anterior (LASTSEM). O segundo transforma essa distância em milissegundos (DISTMS) em segundos (DISTSEC, sendo que então esta distância é multiplicada pela velocidade em metros (VELMS) por segundo para se obter a distância em metros (DISTM). Essa distância então é multiplicada por 100, para chegar a distância real em centímetros (DISTCM), sendo este valor o utilizado para verificar se o espaçamento em questão é normal, duplo ou falho. Após isso, este valor é multiplicado por 10, obtendo-se o DISTCMM, sendo que após este passo os números após a vírgula são eliminados, a fim de serem enviados para o computador, sendo enviado o conteúdo das variáveis "DISTCMM" e "DISTMS".

3.2.4 Diagrama do Funcionamento do Software

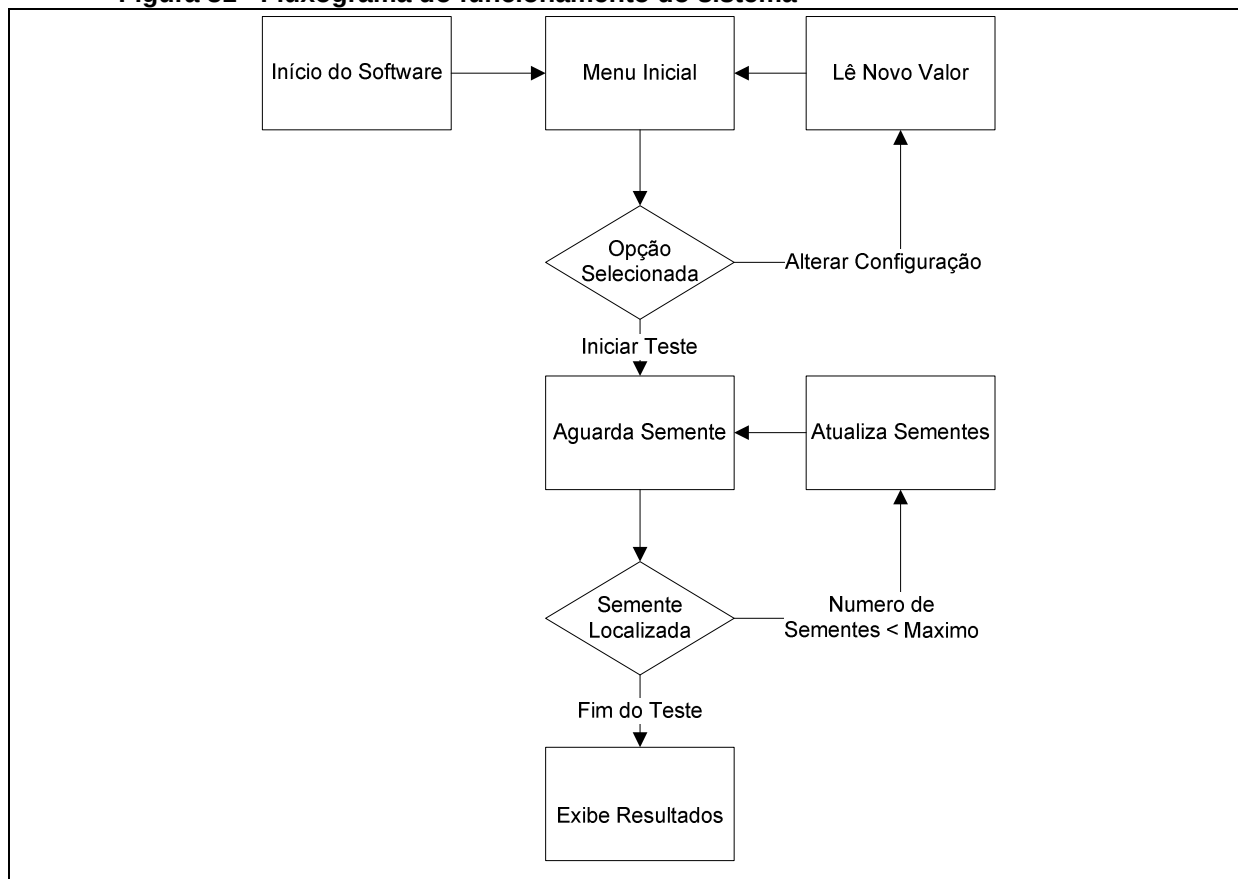
O software elaborado para controlar o funcionamento da solução desenvolvida deve permitir ao usuário alterar a configuração inicial do sistema, acompanhar os resultados durante o teste, e parar a coleta de dados de um teste a qualquer momento. Dessa forma, considerando a parte de software da solução, chegou-se ao fluxograma do sistema apresentado na figura 31.

Assim, quando a solução é ligada, é apresentada uma mensagem inicial ao usuário, para então levá-lo ao menu inicial da solução. Nesse menu, o usuário pode visualizar e modificar as três configurações do teste, navegando entre as opções por meio do potenciômetro e o botão, disponíveis no equipamento, ou então escolher a opção iniciar o teste.

As opções existentes no menu principal podem ser visualizados na tabela 3, bem como os valores padrão de cada opção e o intervalo de dados permitido para

cada uma delas (valores máximos e mínimos admitidos), e a sua unidade de medida.

Figura 31 - Fluxograma do funcionamento do sistema



Fonte: O Autor

Tabela 3 - Opções Existentes no Menu Inicial do Sistema

Num.	Opção	Valor Padrão	Un.	Intervalo de Dados
1	Vel. Da Esteira	3.6	km/h	2.0 – 6.0
2	Dist. Ideal	20	cm	10 – 100
3	Quant. De Sementes	1000	un.	100 – 10.000
4	Iniciar Teste	*	*	*

Fonte: O Autor

Nota: * = Não se Aplica

Quando a opção “Iniciar Teste” é selecionada, o sistema fica aguardando a passagem da primeira semente, e, a partir dela, o programa dispara um cronômetro, e fica aguardando a passagem da segunda semente, contando quantos milissegundos passaram-se até a sua detecção, transformando em seguida este valor em distância. Tendo esse valor, o sistema verifica se o mesmo está dentro dos

limites, se é dupla ou falha e atualiza os respectivos contadores, atualizando também os valores exibidos no display LCD. Após esse processo, o sistema verifica se o teste acabou, e caso contrário, dispara novamente o cronômetro e o processo se repete, aguardando a sinalização da passagem da próxima semente. Quando do fim do teste, seja por alcançar o número máximo de sementes configurado ou por cancelamento manual, o sistema entra em uma repetição, na qual são exibidas as informações de configuração do teste (distância, velocidade e quantidade de sementes) e o resultado (quantidade de duplas e de falhas), uma de cada vez, de forma alternada.

3.2.5 Testes com a solução desenvolvida

Foram preparados alguns testes a serem aplicados na solução desenvolvida, a fim de validar tanto a forma de seu funcionamento como os resultados obtidos pelo mesmo.

3.2.5.1 Verificação dos cálculos e da configuração do sistema

O primeiro tipo de teste elaborado tem a finalidade de demonstrar se o sistema é capaz de ler corretamente cinco distâncias previamente conhecidas.

Para esse teste foram coladas na esteira seis sementes, com 2 cm entre a primeira e a segunda, 5 cm entre a segunda e a terceira, 10 cm entre a terceira e a quarta, 15 cm entre a quarta e a quinta e 20 cm entre a quinta e a sexta. Para a colocação das sementes nessas distâncias, de forma manual, utilizou-se de uma régua simples, graduada em milímetros. A opção de colar as sementes na esteira foi para garantir que ficassem imóveis, mesmo quando a mesma fosse ligada e desligada.

Após a disposição das sementes na esteira, a solução foi configurada para efetuar um teste e devidamente ligada ao computador, para então acionar a esteira. Na análise dos resultados foi avaliado se o dispositivo usou de forma correta a configuração, e qual a variação obtida entre os valores conhecidos e os valores lidos pelo equipamento.

3.2.5.2 Teste sobre a variação das leituras no decorrer de uma medição longa

O segundo teste executado foi criado a fim de verificar como a solução desenvolvida se comportava em um teste mais longo, de mil sementes, que leva aproximadamente três minutos e meio, considerando a velocidade da esteira de 3,6 km/h. Para esse teste também foram coladas sementes em toda a extensão da esteira, de forma aleatória, perfazendo um total de 45 sementes. Não houve medição manual das distâncias entre as sementes neste teste.

Em seguida a solução foi ligada, conectada ao computador e configurada para executar um teste de mil sementes. Por fim foi ligada a esteira, dando início à coleta dos dados.

Para analisar os resultados, optou-se por enumerar cada semente, do 1 ao 45. Foi efetuado então um estudo estatístico dos dados coletados, calculando a média, mediana, desvio padrão e o coeficiente de variação. Os dados utilizados foram os coletados nas 22 voltas completas ($22 \times 45 = 990$), descartando-se desta forma os 10 últimos, que completaria o total de 1000 sementes.

3.2.5.3 Validação do equipamento comparado com testes manuais

O terceiro tipo de teste executado foi o de uma comparação entre o método manual, utilizado atualmente pela empresa SOCIDISCO, com o teste automatizado, utilizando a solução desenvolvida. Enquanto a esteira foi configurada para executar um teste com 1000 sementes, a configuração da solução para estes testes foi: distância ideal entre sementes de 20 cm, velocidade da esteira de 3,6 km/h e teste com 1500 sementes. A solução desenvolvida foi configurada para ler até 1500 valores, a fim de não perder nenhuma leitura caso a quantidade de sementes que passasse pela esteira fosse superior a 1000, devido a sementes duplas. O valor de 1000 sementes foi escolhido por ser o tamanho padrão dos testes manuais efetuados atualmente na SOCIDISCO.

Ainda, para a execução da validação, foram selecionados três tipos de sementes distintas. A primeira é uma cultivar híbrida, muito bem selecionada e homogênea, tratada e com aplicação de pó de grafite, figura 32.

Figura 32 - Primeiro Tipo de Semente Utilizada nos Testes



Fonte: O Autor

Foi utilizado esse cultivar por apresentar melhores resultados nos testes de plantabilidade. Isso é, apresenta muito pouca variação de distância entre as sementes, além de poucas duplas e falhas.

O segundo tipo de amostra de sementes utilizada, chamada de experimental pelos técnicos da SOCIDISCO, é um pouco menor, mais fina e menos uniforme que a semente anterior, sendo também tratada e com aplicação de pó de grafite (figura 33).

Figura 33 - Segundo Tipo de Semente Utilizada nos Testes



Fonte: O Autor

O terceiro tipo de semente utilizado foi do tipo variedade, não tendo passado por processo de seleção, tratada apenas e sem adição de grafite. Essa opção foi feita principalmente devido sementes não serem homogêneas (figura 34), podendo gerar grande variação em suas distâncias longitudinais, e apresentar grande quantidade de duplas e falhas.

Figura 34 - Terceiro Tipo de Semente Utilizada nos Testes



Fonte: O Autor

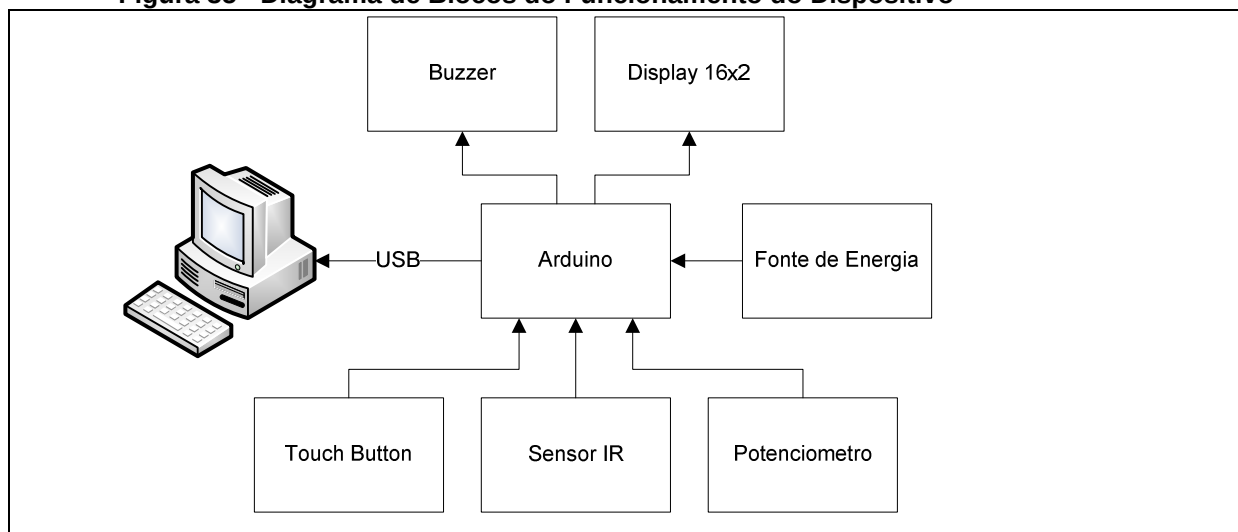
Escolhidos os três tipos de sementes, e a partir da configuração inicial estabelecida, o teste automatizado foi executado e, ao mesmo tempo, a análise da distribuição das sementes de forma manual foi iniciada, com um funcionário cedido pela empresa SOCIDISCO. Após o teste, para avaliar a solução, os resultados obtidos pela leitura manual e pela automática foram comparados e cuidadosamente analisados, a fim de verificar se o equipamento desenvolvido é uma alternativa viável para substituição dos testes manuais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Descrição da Solução Desenvolvida

A solução foi desenvolvida utilizando-se os equipamentos e dispositivos citados no capítulo 3, sendo que a forma como que cada um é interligado e com que interação entre si está demonstrada na figura 35.

Figura 35 - Diagrama de Blocos do Funcionamento do Dispositivo



Fonte: O Autor

Como pode ser visto na figura 35, todos os dispositivos que compõem a solução desenvolvida (buzzer, display LCD 16x2, fonte de energia, touch Button, potenciômetro e sensor infravermelho) estão ligados diretamente ao Arduino, na placa principal. Além disso, o sensor infravermelho é fixado em um suporte de alumínio criado para ele, figura 36, permitindo que seja posicionado acima da esteira, podendo desta forma ser selecionada a melhor posição para a detecção das sementes. Esse suporte possui altura ajustável por uma rosca sem fim e um par de porcas tipo “borboleta” de cada lado do suporte, a fim de permitir um ajuste fino da altura, garantindo que o sensor possa ser posicionado precisamente sobre a esteira, funcionando desta forma em conjunto com a configuração da distância sensora do próprio sensor.

A alimentação (marcada no diagrama como Fonte de Energia) pode ser feita tanto de forma externa, através de uma fonte comum de 12 V, quando o aparelho for

utilizado em conjunto com um computador, através da porta USB, o que dispensa inclusive a necessidade de ligar a solução à rede elétrica de energia.

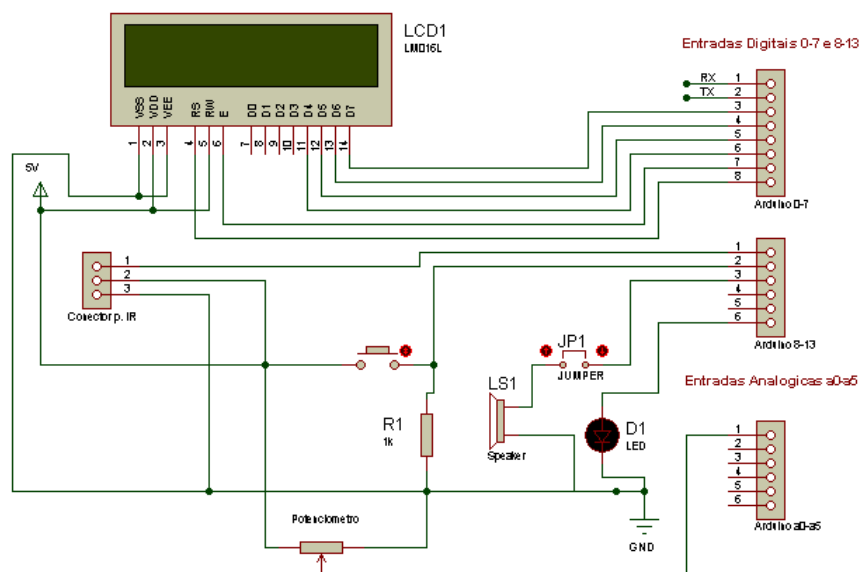
Figura 36 - Base de Altura Regulável para o Sensor



Fonte: O Autor

Os detalhes das conexões de cada dispositivo com o Arduino podem ser visualizados na figura 37, que demonstra todas as entradas do Arduino e em qual delas cada componente é conectado.

Figura 37 - Diagrama das Conexões dos Componentes Utilizados no Projeto



Fonte: O Autor

As conexões 1 e 2, RX e TX, são utilizadas internamente para comunicação com o computador (recepção e transmissão de dados, respectivamente), não sendo utilizadas para outros fins no decorrer desta pesquisa.

Quando a solução é iniciada, seu software é executado, de acordo com o descrito na seção 3.2.4, apresentado ao usuário o menu principal, figura 38.

Figura 38 - Menu Inicial do Sistema.



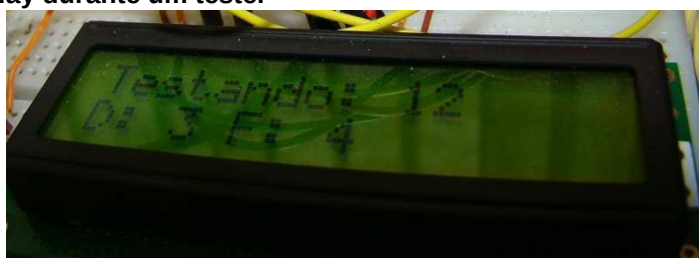
Fonte: O Autor

Na figura 38 é possível ver, além do display exibindo a configuração da Distância Ideal entre as sementes, o potenciômetro e o botão, utilizados para interagir com o menu e para alterar os valores.

Após o desenvolvimento do menu inicial do sistema e da maneira de interação homem-máquina, partiu-se para a rotina de leitura de sementes e de apuração e apresentação dos resultados, além de seu envio para a interface USB, conforme descrito nas seções 3.2.2 e 3.2.4. Além da visualização dos resultados, buscou-se também oferecer um aviso sonoro, através do *buzzer* utilizado na solução, o que pode auxiliar no acompanhamento do teste.

A figura 39 mostra o que é apresentado no LCD durante a realização dos testes. Nessa imagem pode-se visualizar a quantidade de sementes analisadas em 'Testando', número de duplas (D) e de falhas (F) de um teste qualquer.

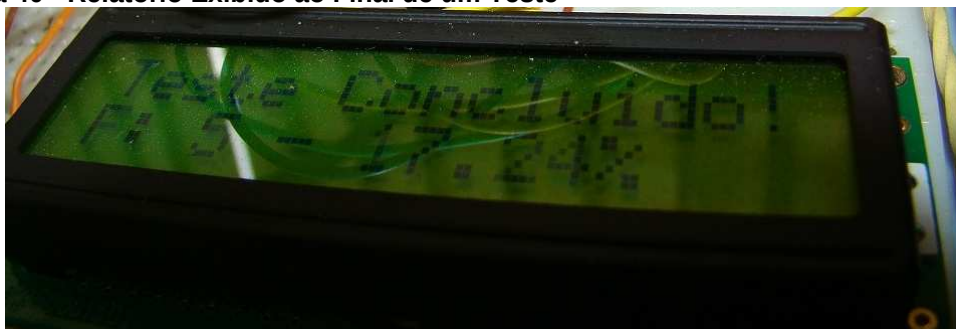
Figura 39 - Display durante um teste.



Fonte: O Autor

Por fim, de acordo com o informado na seção 3.2.4, tem-se a apresentação do relatório final do teste. A figura 40 apresenta um dos momentos do relatório, em que está sendo informado a quantidade de 5 (cinco) falhas, identificado pelo "F" no início da segunda linha, correspondente a 17,24% das sementes testadas em um teste encerrado precocemente.

Figura 40 - Relatório Exibido ao Final de um Teste



Fonte: O Autor

Além dessa informação, há a sinalização sonora do fim do teste, na forma de três pequenos BEEPs, que pode auxiliar o operador, avisando-o que o teste terminou.

4.2 Testes e Validação da Solução Desenvolvida

A fim de verificar a acurácia da solução desenvolvida, bem como comparar os resultados obtidos por esta solução com aqueles obtidos por testes manuais, foram efetuados três tipos de testes distintos, conforme seção 3.2.4.

4.2.1 Cálculos e a configuração da solução

O teste sobre os cálculos e a configuração da solução foi executado de acordo com a seção 3.2.5.1. O quadro 3 apresenta os resultados obtidos, retirados diretamente do *serial monitor*.

As primeiras informações que se pode tirar a partir do quadro 3 são as informações de configuração, ou seja, o sistema foi configurado para executar um teste com distância ideal de 20 cm ($i01=20$), com a esteira configurada para 3,6 km/h ($i02=36$) e um teste de 1.000 sementes ($i03=1000$).

Quadro 3 - Dados do Primeiro Teste

i01=20
i02=36
i03=1000
s0:0
s1:20:20
s2:52:52
s3:101:101
s4:156:156
s5:206:206
x0:1

Fonte: O Autor

Com relação a distância entre as sementes, os valores obtidos pelo sistema foram de 2,0 cm, 5,2 cm, 10,1 cm, 15,6 cm e 20,6 cm, respectivamente, obtendo uma variação, no pior caso, de 0,6 centímetros, o que equivale a 4% do valor original (15,0 cm, de acordo com a seção 3.2.5.2), com uma média de erro de 2,4% quando comparados às medidas originais. Considerando que os outros valores foram muito próximos ao da distância levantada nas medições manuais, esta diferença justifica-se pela imprecisão na hora de colar as sementes e medir suas distâncias, além de um possível atraso, entre a semente passar na frente do sensor e o mesmo detectá-la.

Com este teste, pode-se ainda verificar tanto que a velocidade da esteira, configurada em 3,6 m/s, quanto os cálculos internos feitos pelo sistema (seção 3.2.3), são precisos, representando os valores reais obtidos durante a colocação das sementes na esteira, evidenciando que o algoritmo elaborado para a determinação das distâncias está correto.

4.2.2 Variação das leituras no decorrer de uma medição longa

Os dados obtidos no segundo teste, o teste sobre a variação das leituras no decorrer de uma medição longa, seção 3.2.5.2, são apresentados na íntegra no apêndice 1.

A dos dados coletados foi calculada a média, mediana e desvio padrão (D.P.), bem como a porcentagem de variação com relação à média (coeficiente de variação, C.V.), tabela 4.

Tabela 4 - Resultados Obtidos no Teste de 1.000 sementes

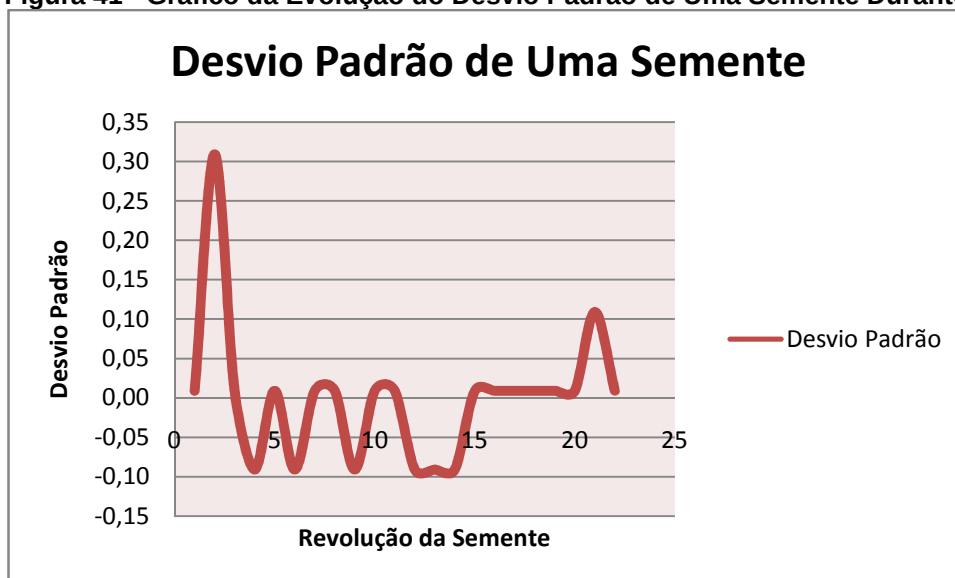
Sem.	Media (cm)	Mediana (cm)	D.P. (cm)	C.V.
1	25,11	25,10	0,17	0,7%
2	16,43	16,40	0,19	1,1%
3	10,17	10,20	0,15	1,5%
4	14,40	14,35	0,17	1,2%
5	25,84	25,90	0,17	0,6%
6	26,02	25,90	0,21	0,8%
7	30,64	30,65	0,21	0,7%
8	10,74	10,70	0,23	2,1%
9	25,13	25,10	0,17	0,7%
10	15,87	15,90	0,29	1,8%
11	15,97	16,00	0,24	1,5%
12	6,59	6,60	0,24	3,6%
13	19,13	19,20	0,24	1,2%
14	20,18	20,10	0,15	0,8%
15	21,61	21,70	0,22	1,0%
16	22,26	22,30	0,15	0,7%
17	13,85	13,90	0,14	1,0%
18	17,51	17,60	0,19	1,1%
19	18,96	18,90	0,20	1,0%
20	30,66	30,65	0,23	0,8%
21	10,70	10,60	0,19	1,8%
22	4,22	4,30	0,18	4,4%
23	6,75	6,75	0,22	3,3%
24	12,60	12,65	0,19	1,5%
25	11,49	11,50	0,21	1,8%
26	21,39	21,40	0,09	0,4%
27	19,50	19,55	0,19	1,0%
28	10,10	10,20	0,18	1,7%
29	19,97	20,00	0,20	1,0%
30	7,43	7,40	0,22	2,9%
31	28,17	28,15	0,22	0,8%
32	20,01	20,10	0,21	1,0%
33	16,60	16,50	0,19	1,1%
34	10,16	10,20	0,21	2,1%
35	10,42	10,45	0,18	1,7%
36	20,21	20,10	0,22	1,1%
37	23,79	23,80	0,22	0,9%
38	8,40	8,45	0,22	2,7%
39	14,11	14,20	0,19	1,3%
40	27,07	27,10	0,18	0,7%
41	15,63	15,60	0,14	0,9%
42	14,38	14,30	0,16	1,1%
43	3,11	3,15	0,13	4,1%
44	12,33	12,30	0,18	1,4%
45	53,07	53,10	0,23	0,4%

Fonte: O Autor

Nota: 'sem' = numero da semente.

Pimentel-Gomes (1985) afirma que o coeficiente de variação pode ser utilizado para demonstrar a precisão de experimentos. Levando em consideração coeficientes comumente encontrados em experimentos agrícolas, o resultado obtido classifica-se como baixo, estando abaixo dos 10%, limite desta categoria. Esse resultado demonstra ainda que o equipamento é preciso o suficiente para um teste de plantabilidade de sementes de milho, representando uma variância constante e sem grandes flutuações durante o teste, conforme pode ser observado na figura 41, que demonstra as variações de uma única semente no decorrer de todo o teste, em suas 22 revoluções completas.

Figura 41 - Gráfico da Evolução do Desvio Padrão de Uma Semente Durante o Teste



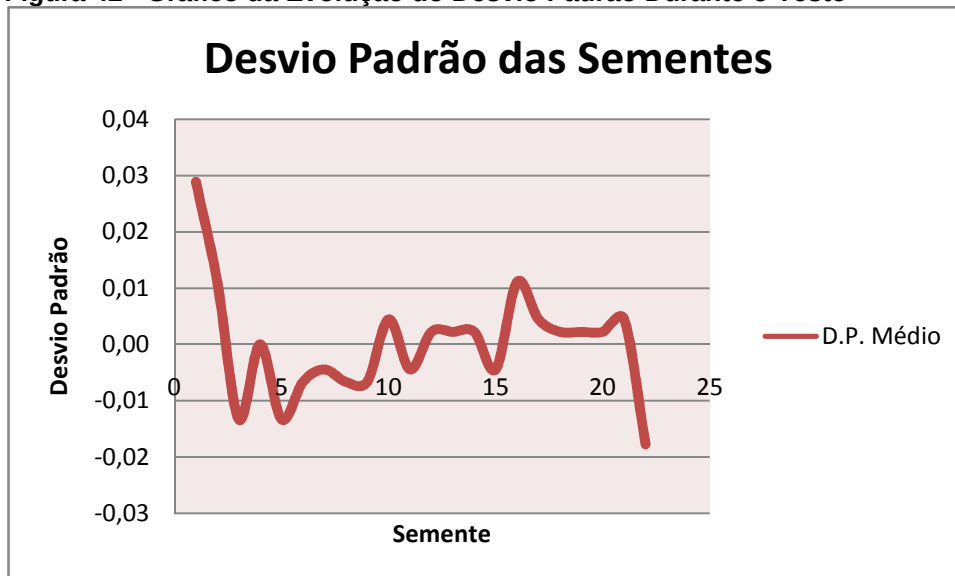
Fonte: O Autor

De acordo com a tabela 4, foi possível obter um desvio padrão médio de 0,19 cm, independente da distância entre as sementes. Esse valor representa, nas menores distâncias lidas (próximas a 3 cm), pouco mais de 4% de variação, porém em distâncias mais comumente utilizadas no campo para a cultura do milho, 40 cm (seção 2.10.3), uma variação de menos de meio por cento ocorre no sistema.

Pela figura 41 é possível notar que os valores variam geralmente até 0,15 cm a cada leitura e são distribuídas no decorrer do teste. Ainda, essa figura apresenta que essa variação mantém-se constante durante todo o teste, não havendo mudanças nos resultados com o decorrer do tempo, nem picos exagerados que possam estar ocultos pelos cálculos da média, por exemplo.

A figura 42 apresenta a média das variações de todos os espaçamentos lidos a cada volta completa da esteira, sendo possível verificar também que o resultado não possui grandes variações e que a precisão do dispositivo não sofre alterações do decorrer de testes mais longos, no caso, de 1.000 sementes.

Figura 42 - Gráfico da Evolução do Desvio Padrão Durante o Teste



Fonte: O Autor

4.2.3 Resultados da validação do equipamento comparado com testes manuais

Para validar o equipamento desenvolvido, comparando-o com o resultado de testes manuais, seguiu-se o procedimento descrito na seção 3.2.5.3. A configuração da solução para estes testes foi: distância ideal entre sementes de 20 cm, velocidade da esteira de 3,6 km/h e teste com 1500 sementes. Os resultados obtidos nestes testes, bem como a análise dos dados são apresentados a seguir.

4.2.3.1 Teste com o Primeiro Tipo de Semente

Executado o teste com o primeiro tipo de semente, chegou-se aos resultados constantes na figura 43: 983 sementes testadas (com o sistema aguardando a semente de número 984), 6 duplas e 3 falhas, tanto no teste manual quanto no teste

automático, com 13 sementes restantes na esteira antes de serem detectadas pelo sensor.

Figura 43 - Comparação de resultados do teste com o primeiro tipo de semente



Fonte: O Autor

Com relação à quantidade de sementes testadas, ao adicionar à quantidade de sementes lidas as 13 que sobraram na esteira, obtém-se o valor de 996 sementes lidas, demonstrando que apenas 4 sementes não foram detectadas pelo sensor. O resultado final obtido com este conjunto semente-disco dosador também confere com os testes efetuados com esta semente na empresa SOCIDISCO – 0,6% de duplas e 0,3% de falhas, segundo o funcionário da mesma.

4.2.3.2 Teste com o Segundo Tipo de Semente

Efetuando o teste no segundo tipo de semente selecionado, obteve-se como resultado 6 distâncias duplas e 5 distâncias falhas, tanto no teste manual quanto no automático, de um total de 978 sementes lidas, conforme pode ser verificado na figura 44. Além dessas sementes, restaram um total de 12 sementes na esteira, sem serem lidas pelo sensor.

Figura 44 - Comparação de resultados do teste com o segundo tipo de semente



Fonte: O Autor

Obteve-se desta forma mais um resultado igual entre os dois testes. Somando ao total de sementes lidas o número de sementes que sobraram na esteira, obteve-se o valor de 990 sementes, evidenciando que apenas 10 sementes foram ignoradas

pelo sensor. Ou seja, 1,0% das sementes do teste não foram identificadas pela solução.

4.2.3.3 Teste com o Terceiro Tipo de Semente

Neste teste, com um total de 955 sementes lidas, foram contadas 32 distâncias duplas e 50 distâncias falhas no teste automático, e 25 duplas e 22 falhas no teste manual, conforme pode ser visualizado na figura 45. Além dessas sementes, sobraram 11 sem serem lidas pelo sensor na esteira.

Figura 45 - Comparação de resultados do teste com o terceiro tipo de semente



Fonte: O Autor

Obteve-se neste teste uma pequena variação entre os valores manuais e os automáticos: 7 duplas e 28 falhas a mais na contagem automática. Sobre o número de sementes lidas, somando-se as 11 que sobraram na esteira ao total apresentado pelo sistema obtém-se o valor de 966 sementes, evidenciando que 34 sementes podem ter sido ignoradas pelo sensor, que correspondem a 3,4% do total de sementes envolvidas no teste.

4.2.4 Síntese e Discussão dos Resultados

Com o teste sobre as fórmulas e o sobre a configuração do sistema, e o teste sobre a variação das leituras no decorrer de uma medição longa, foi possível notar que há uma variação que ocorre na medida das sementes, mesmo em distâncias fixas lidas repetidamente. Essa variação pode ser justificada pelo tempo necessário para que o sensor infravermelho efetue a detecção dos objetos dentro de sua área sensora e envie a informação ao microcontrolador, sendo que esta variação é regular, ficando sempre dentro de um intervalo de dados bem definido, de 0,15 cm a 0,22 cm, conforme resultados apresentados na seção 4.2.2.

Os testes em que foram efetuadas as comparações entre o método manual e o automático permitiram uma melhor caracterização da solução desenvolvida juntamente com a esteira. Nesse caso, o sistema detecta a grande maioria das sementes que passam na esteira, com margens de detecção entre 96,6% a 99,6%, dependendo do teste. Entretanto, a detecção de 96,6% dos totais das sementes mostrou-se uma exceção (seção 4.2.3.3), tendo em vista que este valor para os outros 2 testes foram muito superiores (99,6%, 99,0%), obtendo uma média de detecção de 98,4%.

Ainda, a partir da comparação entre o método automático e manual, verificou-se as duas ocorrências que permitem que uma semente passe e não seja detectada pela solução. A primeira ocorre quando duas sementes passam muito perto uma da outra, a distâncias inferiores a 1 cm, sendo detectadas como uma só. A segunda situação de não detecção de sementes é quando elas passam a mais de 2,5 cm do centro da esteira, fora da região de detecção do sensor. Esse raio de detecção pode ser aumentado, elevando o sensor com relação à esteira, porém isto também aumentaria a distância em que duas sementes são detectadas como uma.

Ao efetuar a comparação entre os resultados obtidos com o teste manual e o eletrônico, têm-se as seguintes considerações. Nota-se que nos testes onde há poucas duplas e falhas, bem como uma distribuição mais homogênea das sementes, a diferença entre os resultados é pequena ou inexistente (caso dos testes com o primeiro e o segundo tipo de semente). Conforme o número de duplas e falhas aumentam, aumenta também a diferença entre os resultados, chegando a uma diferença de 35 sementes entre as duas contagens, em um teste com 8,2% de espaçamentos com problemas.

O equipamento utilizado permite também a detecção das sementes em cores variadas, sendo que nesta pesquisa foram utilizadas sementes in-natura (amarelas, extraídas diretamente de uma espiga), avermelhadas e cinza-escuro, de acordo com o tratamento recebido.

Quando comparados com os métodos existentes para determinação da distribuição longitudinal de sementes, é possível notar que a solução desenvolvida apresenta algumas vantagens. Ele é de mais fácil utilização e mais independente da interferência humana do que os meios utilizados por Orlosky, Guimarães e Justino (2009). A solução desenvolvida é ainda mais precisa do que o método desenvolvido por Karayel et al (2006), que obteve uma taxa de erro de aproximadamente 5%,

superior que aos 0,5% conseguidos durante esta pesquisa. Quando comparado com os resultados obtidos por Oliveira e Pinto (2007), obteve-se uma perda na detecção de sementes menor e erro menor na determinação das distâncias. Enquanto Oliveira e Pinto (2007) não detectaram de 5% a 20% do total de sementes disponíveis durante o teste, esta pesquisa não detectou uma média de de 1,6%. Com relação a taxa de erro nas distâncias lidas, quando comparadas com as respectivas medições manuais, esta pesquisa também obteve um resultado melhor (média de 4,3%, contra uma média de 2,4% obtidos nesta), mesmo considerando a velocidade maior utilizada na esteira e a maior quantidade de sementes utilizadas nesta pesquisa.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Com o desenvolvimento desta pesquisa pode-se concluir que a cultura do milho pode se beneficiar de pesquisas que vão além do campo. Com o desenvolvimento de equipamentos que permitam testes mais precisos em máquinas e implementos agrícolas, é possível obter melhorias que tem o potencial de elevar a produtividade.

Analisando os resultados obtidos nos testes sobre os cálculos e a configuração do sistema e a variação das leituras no decorrer de uma medição longa, verifica-se que o equipamento é preciso o suficiente para ser utilizado nos testes de plantabilidade, conseguindo níveis de erro considerados muito baixos, quando comparados com as alternativas encontradas na literatura.

Já os resultados obtidos na validação da solução desenvolvida, comparando-os com testes manuais, demonstram que a mesma apresenta resultados mais precisos, principalmente quando se trata de testes com uma maior quantidade de duplas e falhas, mais difíceis de serem avaliados pelo operador.

O projeto apresenta ainda algumas oportunidades de pesquisas futuras, a fim de melhorar seu funcionamento ou adicionar funcionalidades ao mesmo. Entre elas tem-se: a adição de mais um sensor IR, na mesma linha do utilizado atualmente, a fim de aumentar o raio de detecção lateral de sementes; utilizar um sensor a laser ou de zona de detecção linear, a fim de melhor detectar sementes que passem a distâncias muito pequenas uma das outras ou então que caiam mais distantes do eixo da esteira; e o desenvolvimento de software que permita a recepção dos dados enviados pelo sistema, gerando informações estatísticas e permitindo a comparação direta entre testes, o que no momento pode ser feito de forma manual, coletando os dados no *serial monitor* do próprio Arduino, importando-os em um software de planilha eletrônica e efetuando os cálculos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de Norma 04:015:06-004. Semeadora de precisão: ensaio de laboratório.** São Paulo, 1994. 22p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de Norma 04:015:06-010. Semeadora e distribuidoras de fertilizantes e corretivos - terminologia: definições.** São Paulo, 1996. 23p

AMARAL FILHO, J. P. R. et. Al. **Espaçamento, Densidade Populacional e Adubação Nitrogenada na Cultura do Milho.** In Revista Brasileira de Ciencia do Solo n. 29, p. 467-473, 2005.

ANDERSON, D.. **Universal Serial Bus System Architecture.** Addison-Wesley Professional, 1. Ed, 1997. 352pg.

ANDREOLI, C.; ANDRADE, V.R. **Qualidade da semente e densidade da semeadura afetam a emergência e produtividade de milho.** In Anais do Congresso Brasileiro de Milho e Sorgo, 22. Recife: UFPe, 1998. P.54.

ANDREOLI, C. **Influência da Germinação da Semente e da Densidade de Semeadura no Estabelecimento do Estande e na Produtividade de Milho.** In Revista Brasileira de Sementes. V. 24, n. 2, p. 1-5, 2002.

ARDUINO. **Arduino Home-page.** Disponível em <<http://www.arduino.cc/>>. Acesso em 17 jul. 2012.

BAUDET, L., MISRA, M., **Atributos de Qualidade de Sementes de Milho Beneficiadas em Mesa de Gravidade.** in Revista Brasileira de Sementes. v. 13, n. 2, p. 91-97, 1991.

BORGES, G. A. et al. **Sensores Ópticos de Passagem e de Medição de Distância.** Encontro de Tecnologia de Brasília. Brasília, 2005.

CELIK, A., OZTURK, I., WAY, T. R. **Effects of Various Planters on Emergence and Seed Distribution Uniformity of Sunflower.** In Applied Engineering in Agriculture. V. 23, n. 1:57-61.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento.** Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/index.php>>. Acesso em: 12 jul. 2012.

DFROBOT. **16 x 2 Character LCD.** Disponível em: <<http://www.dfrobot.com/image/data/FIT0127/datasheet.pdf>>. Acesso em 09/07/2012.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho.** 2.ed. Brasília: SPI/EMBRAPA/CNPMS, 1996. 204p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de Milho**. São Paulo, SP: Livroceres, 2004. 360p.

FONSECA, M. G. C. **Plantio Direto de Forrageiras: Sistema de Produção**. Guaíba, RS: Agropecuária, 1997. 101p.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da Cultura do Milho**. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2007. 574p.

FURLANI, C. E. A, LOPES, A. SILVA, R.P. et. al. **Avaliação de Semeadora-Alubadora de Precisão Trabalhando em Três Sistemas de Preparo do Solo**. in Eng. Agrícola Jaboticabal, v.25, n.2, p. 458-464, mai-ago, 2005.

GASSEN, D. **Processos no plantio direto e na produção de grãos**. In Revista Plantio Direto. In: Revista Plantio Direto, Passo Fundo, ed. 115, jan-fev, 2010.

GRIEPENTROG, H. W. **Seed Distribution Over the Area**. In EurAgEng. N. 98-A-059. Oslo.

JASPER, R., JASPER, M., GARCIA, L. C. **Seleção de Sementes de Milho Durante a Simulação da Semeadura com Disco Perfurado Horizontal**. in Eng. Agrícola Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 434-441, maio-ago, 2006.

KARAYEL, D., et al. **Laboratory Measurement of Seed Drill Seed Spacing and Velocity of Fall of Seeds using High-Speed Camera System**. In Computers and Eletronics in Agriculture. Vol 50., n.1, p. 89-96, 2006.

KOCHER, M. F. et al. **Opto-eletronic Sensor System for Rapid Evaluation of Planter Seed Spacing Uniformity**. in Biological Systems Engineering: Papers and Publications. Vol. 41, n. 1, p. 237-245, 1998.

KURACHI, S. A. H. et. al. **Avaliação Tecnológica: Resultados de Ensaio de Mecanismos Dosadores de Sementes de Semeadoras-adubadoras de precisão**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1993. 47 p.

LIMA, A. M. M., CARMONA, R. **Influência do Tamanho da Semente no Desempenho Produtivo da Soja**. in Revista Brasileira de Sementes, vol. 21, n. 1, p. 157-163, 1999.

LOBIANCO, J. L. B. ; BORNSTEIN, C. T. . **Impactos da informática na agropecuária**. In: III Congresso da SBI-AGRO, 2002, Foz do Iguaçu. Anais do III Congresso da SBI-AGRO, 2002.

MARTINS, N. A. **Sistemas Microcontrolados – Uma Abordagem com o Microcontrolador PIC 16f84**. São Paulo: Novatec Editora. 2005.

MELLIS, D.; BANZI, M.; CUARTIELLES, D.; IGOE, T. **Arduino: An open electronics prototyping platform**. In: CHI 2007 CONFERENCE. alt.chi. 2007. San Jose.

MOLIN, R. **Espaçamento Entre Linhas de Semeadura na Cultura de Milho.** Castro, Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária. 2000, p. 1-2.

OLIVEIRA, R. C.; PINTO, T.P.S. **Análise de Distribuição de Sementes por Meio da Utilização de Sensores,** Ponta Grossa, PR: UEPG, 2007. 84p.

ORLOSKI, A.; GUIMARÃES, A.M.; JUSTINO, A. **Métodos Inteligentes para Processamento de Imagens de Distribuição de Sementes.** In Anais do XVIII EAIC, Ponta Grossa, PR: UEPG. 2009.

PAZOS, Fernando. **Robótica – Automação de Sistemas & Robótica.** Rio de Janeiro: Axcel Books, 2005;

PENARIOL, F. G et. Al. **Comportamento de Cultivares de Milho Semeadas em Diferentes Espaçamentos Entre Linhas e Densidades Populacionais na Safrinha.** In Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 2:52-60, 2003

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental.** São Paulo: USP/ESALQ, 1985, 467p.

RAHEMAN, H. SINGH, U. **A Sensor for Seed Flow from Seed Metering Mechanisms.** IE (I) Journal - AG. vol. 84, n.1, p. 6-8, 2003.

REZENDE, S. G.; VON PINHO, R. G; VASCONCELOS, R.C. **Influência do Espaçamento entre linhas e densidade de plantio no desempenho de cultivares de milho.** In Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 2:34-42, 2003.

RIBEIRO, M. F. **Mecanização Agrícola.** In: DAROLT, M. R. Plantio Direto: Pequena Propriedade Sustentável. IAPAR, Londrina: 1998. p. 95-111.

SANTOS, S.R. dos et al. **Espaço livre entre orifícios de discos dosadores e sementes de milho na eficiência de semeadura.** In Enge Agríc, v.23, n.2, p.300-308, 2003.

SARAIVA, A. CUGNASCA, C. **Equipamentos para Automação Agrícola.** Infoagro 2000, Ponta Grossa, Out. 18 a 20.

SATTTLER, A. et al. **Avaliação do desempenho de semeadoras de precisão em plantio direto de milho.** In Rev Plan Dir, Passo Fundo, v.1, n.33, p.27, 1996.

SCHIMANDEIRO, A. et al. **Distribuição longitudinal de plantas de milho (Zea mays L.) na região dos Campos Gerais, Paraná.** In: Ciência Rural, Santa Maria, v.36, n.3, p.977-980, mai-jun, 2006.

SCHUCH, L., PESKE, S. O. **Falhas e duplos na produtividade.** In: Revista SEED News, Pelotas, ano XII, n. 6. Nov-dez, 2008.

SILVA, M.R. da. **Classificação de semeadoras-adubadoras de precisão para o sistema plantio direto conforme o índice de adequação.** 2003. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

SILVEIRA, P. R; SANTOS, W. E. **Automação – Automação e Controle Discreto.** São Paulo: Editora Erica, 2007.

SOCIDISCO. **SOCIDISCO – Esteira de Plantabilidade.** Disponível em <<http://www.socidisco.com.br/esteira.html>>. Acesso em 10 jul. 2012.

SOUZA, U. L. de; PEREIRA, T. R. **Fotodiodos e Fototransistores.** Florianopolis, 2006.

UEPG. **Manual de Normalização Bibliográfica para Trabalhos Científicos.** 3.ed. rev. Ponta Grossa: UEPG, 2010.

USDA. **United States Department of Agriculture.** Disponível em: <<http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>>. Acesso em: 11 jul. 2012.

WIECHETECK, L.; INOUE, R. **Automação de um dispositivo de análise de distribuição de sementes.** 2005. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade Estadual de Ponta Grossa. Orientador: Alaine Margarete Guimarães.

APÊNDICE 1 - Dados Lidos no Teste de 1000 Sementes

Sem.:	Repetição:																						Media	Med.	D.P.	Var.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22				
1	24,9	25,4	25,1	25,6	25,1	25,1	25,1	25,0	25,0	25,1	25,1	25,1	25,1	25,0	25,1	25,1	25,0	25,0	25,0	25,5	25,1	24,9	25,1	25,1	0,2	0,7%
2	16,8	16,2	16,3	16,1	16,4	16,4	16,3	16,4	16,5	16,4	16,4	16,8	16,4	16,4	16,4	16,8	16,5	16,5	16,5	16,1	16,4	16,5	16,4	16,4	0,2	1,1%
3	10,2	10,1	10,1	10,5	10,2	10,2	10,3	10,3	10,1	10,2	10,1	9,8	10,2	10,3	10,3	9,8	10,2	10,1	10,2	10,1	10,2	10,3	10,2	10,2	0,2	1,5%
4	14,4	14,5	14,5	14,2	14,4	14,3	14,3	14,3	14,4	14,4	14,4	14,6	14,3	14,3	14,3	14,8	14,3	14,3	14,2	14,7	14,7	14,2	14,4	14,4	0,2	1,2%
5	25,7	25,8	25,9	25,9	25,9	26,0	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,5	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	26,0	26,0	25,4	25,5	25,9	25,8	25,9	0,2	0,6%
6	26,0	26,0	26,2	25,9	25,9	25,8	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	26,3	26,3	25,9	25,9	25,8	25,9	25,9	26,4	26,5	26,3	25,9	26,0	25,9	0,2	0,8%
7	30,8	30,9	30,3	30,7	30,4	30,9	30,4	30,8	30,9	30,8	30,5	30,6	30,6	30,8	30,8	30,5	30,9	30,8	30,4	30,4	30,5	30,4	30,6	30,7	0,2	0,7%
8	10,8	10,4	10,9	10,7	11,1	10,6	11,1	10,7	10,6	10,6	11,0	10,5	10,5	10,7	10,7	11,1	10,7	10,6	10,6	10,6	10,6	11,2	10,7	10,7	0,2	2,1%
9	25,4	25,1	25,1	25,1	25,0	25,0	25,1	25,1	25,1	25,1	25,0	25,1	25,1	25,1	25,1	25,0	24,9	25,0	25,4	25,5	25,5	25,0	25,1	25,1	0,2	0,7%
10	15,9	16,6	16,1	16,4	15,6	16,1	15,6	15,9	15,9	16,0	15,7	16,0	16,0	16,0	15,5	15,6	16,1	15,7	15,7	15,6	15,6	15,5	15,9	15,9	0,3	1,8%
11	16,1	15,5	15,7	15,5	16,0	16,0	15,9	16,0	16,1	15,6	16,4	16,1	15,9	15,9	16,0	16,0	16,0	16,5	16,0	16,0	16,0	16,1	16,0	16,0	0,2	1,5%
12	6,4	6,7	6,7	6,6	6,8	6,4	7,0	6,6	6,5	6,8	6,4	6,4	6,5	6,6	7,0	6,9	6,1	6,1	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	0,2	3,6%
13	19,3	18,9	19,1	19,2	19,0	18,9	18,8	18,8	19,2	19,0	18,9	19,3	19,2	19,2	19,2	18,8	19,7	19,6	19,2	19,2	19,2	19,1	19,1	19,2	0,2	1,2%
14	20,3	20,3	20,2	20,1	20,1	20,5	20,1	20,5	20,2	20,5	20,1	20,1	20,2	20,2	20,1	20,2	20,1	20,1	20,0	20,0	20,0	20,1	20,2	20,1	0,2	0,8%
15	21,6	21,7	21,4	21,8	21,8	21,3	21,8	21,4	21,3	21,4	21,7	21,7	21,7	21,3	21,4	21,7	21,4	21,5	21,9	21,9	21,9	21,9	21,6	21,7	0,2	1,0%
16	22,3	22,4	22,5	22,2	22,1	22,3	22,2	22,1	22,2	22,1	22,3	22,3	22,2	22,6	22,2	22,2	22,3	22,3	22,3	22,4	21,9	22,3	22,3	22,3	0,1	0,7%
17	14,0	13,8	13,5	13,5	13,9	13,9	14,0	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	14,0	14,0	13,9	13,9	13,8	13,7	13,8	13,7	13,8	13,9	13,8	13,9	0,1	1,0%
18	17,5	17,3	17,6	17,7	17,3	17,6	17,6	17,8	17,6	17,7	17,6	17,6	17,2	17,2	17,7	17,6	17,3	17,4	17,4	17,4	17,8	17,3	17,5	17,6	0,2	1,1%
19	18,9	19,2	19,1	18,8	19,3	18,9	18,8	18,8	19,0	18,9	18,9	18,9	19,3	18,8	18,8	19,0	19,3	19,2	18,8	19,1	18,7	18,7	19,0	18,9	0,2	1,0%
20	31,0	30,5	30,8	30,9	30,4	30,5	30,4	30,8	30,4	30,8	30,5	30,5	30,4	30,9	30,9	30,4	30,4	30,9	30,8	30,5	31,0	30,9	30,7	30,7	0,2	0,8%
21	10,4	10,8	10,5	10,6	10,6	10,6	11,1	10,7	10,6	10,6	11,0	10,6	10,7	10,7	10,6	11,1	11,0	10,6	10,6	10,6	10,6	10,7	10,7	10,6	0,2	1,8%
22	4,3	4,0	4,4	4,1	4,4	4,4	4,0	4,0	4,4	4,0	4,0	4,4	4,4	4,4	4,1	4,0	3,9	4,3	4,3	4,4	4,3	4,3	4,2	4,3	0,2	4,4%

Continuação

23	6,7	7,1	6,6	6,8	6,6	6,9	7,0	6,9	6,5	7,0	6,9	6,9	6,4	6,4	6,8	7,0	7,1	6,6	6,7	6,6	6,6	6,5	6,8	6,8	0,2	3,3%
24	12,8	12,6	12,8	12,7	12,6	12,7	12,1	12,6	12,7	12,6	12,7	12,3	12,7	12,7	12,7	12,4	12,4	12,5	12,8	12,9	12,4	12,4	12,6	12,7	0,2	1,5%
25	11,4	11,1	11,2	11,5	11,5	11,4	11,9	11,5	11,9	11,5	11,4	11,8	11,5	11,5	11,4	11,6	11,6	11,5	11,1	11,4	11,5	11,6	11,5	11,5	0,2	1,8%
26	21,4	21,7	21,4	21,3	21,4	21,3	21,4	21,4	21,3	21,4	21,4	21,3	21,3	21,3	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,5	21,4	21,4	21,4	0,1	0,4%
27	19,6	19,5	19,5	19,3	19,6	19,4	19,3	19,7	19,3	19,2	19,3	19,4	19,8	19,8	19,2	19,6	19,6	19,6	19,7	19,3	19,6	19,7	19,5	19,6	0,2	1,0%
28	10,1	10,0	10,1	10,2	10,3	10,2	10,2	9,8	10,2	10,2	10,2	10,2	10,1	9,7	10,3	9,8	9,8	10,3	10,1	10,1	10,2	10,2	10,1	10,2	0,2	1,7%
29	20,0	19,9	19,9	20,2	19,6	19,7	20,2	20,1	19,7	20,1	20,1	19,7	19,8	20,2	20,2	20,0	20,0	20,0	20,1	20,1	20,1	19,6	20,0	20,0	0,2	1,0%
30	7,4	7,8	7,3	7,2	7,4	7,8	7,3	7,3	7,7	7,4	7,4	7,8	7,7	7,2	7,2	7,5	7,5	7,1	7,5	7,5	7,1	7,4	7,4	7,4	0,2	2,9%
31	28,0	28,0	28,6	28,4	28,4	27,8	27,9	28,4	28,0	28,4	28,3	27,9	27,9	28,4	28,4	28,2	28,2	28,0	28,1	28,1	28,1	28,2	28,2	28,2	0,2	0,8%
32	20,4	19,9	19,9	19,8	20,0	20,2	20,2	19,7	20,1	19,6	19,7	20,1	20,2	20,2	19,7	20,0	20,0	20,2	20,1	20,1	20,1	20,1	20,0	20,1	0,2	1,0%
33	16,5	16,8	16,5	16,3	16,4	16,8	16,8	16,8	16,8	16,9	16,8	16,8	16,4	16,4	16,8	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,4	16,6	16,5	0,2	1,1%
34	10,1	10,0	10,0	10,3	10,3	9,8	10,1	10,2	9,9	9,7	10,2	10,2	10,6	10,1	10,2	10,2	10,2	10,6	10,2	10,2	10,1	10,3	10,2	10,2	0,2	2,1%
35	10,5	10,5	10,4	10,5	10,2	10,6	10,3	10,2	10,5	10,7	10,3	10,3	10,3	10,6	10,2	10,6	10,6	10,2	10,2	10,2	10,7	10,6	10,4	10,5	0,2	1,7%
36	20,2	20,1	20,7	20,2	20,5	20,1	20,1	20,5	20,2	20,1	20,0	20,0	20,0	20,2	20,2	20,1	20,1	20,1	20,6	20,6	20,0	20,1	20,2	20,1	0,2	1,1%
37	23,5	23,6	23,7	23,9	23,4	23,9	23,8	23,5	23,8	23,8	24,3	23,9	23,9	23,8	23,8	23,6	24,1	24,1	23,6	24,0	23,7	23,7	23,8	23,8	0,2	0,9%
38	8,7	8,6	8,2	8,0	8,6	8,5	8,6	8,6	8,5	8,6	8,2	8,5	8,1	8,6	8,6	8,4	8,0	8,4	8,4	8,0	8,4	8,4	8,4	8,5	0,2	2,7%
39	14,1	14,1	14,2	14,4	14,0	13,9	13,9	13,8	14,0	14,4	13,8	13,9	14,3	13,9	14,3	14,3	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,1	14,2	0,2	1,3%
40	27,2	27,1	26,9	27,1	27,1	27,2	27,1	27,1	27,1	26,7	27,3	27,2	27,1	27,1	26,7	27,2	27,3	26,8	26,9	26,9	27,3	27,2	27,1	27,1	0,2	0,7%
41	15,5	15,6	15,8	15,6	15,6	15,5	15,6	15,7	15,6	16,0	15,5	15,5	15,6	15,6	16,0	15,7	15,6	15,7	15,5	15,5	15,6	15,6	15,6	15,6	0,1	0,9%
42	14,6	14,6	14,2	14,3	14,3	14,4	14,3	14,3	14,3	14,3	14,4	14,5	14,3	14,3	14,3	14,2	14,2	14,6	14,7	14,7	14,3	14,3	14,4	14,3	0,2	1,1%
43	3,2	3,2	3,3	3,2	3,2	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,1	3,1	3,3	3,2	2,8	3,0	3,0	3,0	3,1	3,0	2,9	3,0	3,1	3,2	0,1	4,1%
44	12,1	11,9	12,4	12,3	12,2	12,3	12,3	12,2	12,3	12,3	12,7	12,2	12,2	12,3	12,7	12,4	12,5	12,4	12,3	12,4	12,4	12,4	12,3	12,3	0,2	1,4%
45	53,0	53,4	52,5	53,1	53,2	53,2	53,2	53,2	53,1	53,1	52,8	53,2	53,2	53,1	52,7	53,3	53,3	52,9	52,9	52,9	53,4	52,9	53,1	53,1	0,2	0,4%

APÊNDICE 2 - Código Fonte da Solução

```

/*

Projeto de Mestrado
Deividson L. Okopnik
Rosane Falate

Configuração de Pinos Digitais:
0 - TX
1 - RX
2 a 7 - Controle do Display
8 - Entrada Sensor
9 - Entrada Botão
10 - Saída do Speaker
13 - LED

Configuração de Pinos Analogicos:
a0 - Entrada Potenciometro

*/

const int irPin = 8;
const int butPin = 9;
const int spkPin = 10;
const int ledPin = 13;
const int potPin = A0;
const int sensorPin = A5;
const int nota = 500;
const int thold = 220;
const int waitTill = 300;

// leitura de botoes, sensores e pots
int irVal = 0;
int sensorVal = 0;
int butVal = 0;
int lastVal = 0;
int sai = 0;
int qbut = 0;

unsigned long lastSem = 0;

long count = 0;
long dupla = 0;
long falha = 0;

String msg = String("");

float distdup, distfal;

// Valores padrão
int dist = 20; // cm - distância ideal entre sementes
float vel = 3.6; // km/h - velocidade da esteira
float velMs = 0.0; // m/s - metros por segundo, para os calculos
int quant = 20; // un - quantidade de sementes

// Outras Variaveis
String menu[] = { "> Dist. Ideal    ", "> Vel. Esteira    ", ">
Quant. Sem.    ", "> Iniciar Teste " };

```

```

#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);

// Inicio da Configuração do Sistema
void setup() {

    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    pinMode(spkPin, OUTPUT);
    pinMode(butPin, INPUT);
    pinMode(irPin, INPUT);

    lcd.begin(16, 2);
    lcd.print("seed][spacing");

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Configuracao");

    delay(4000);
    lcd.clear();

    int lastOpt = 100;

    for(;;)
    {
        int butVal = digitalRead(butPin);

        if(butVal == HIGH)
        {
            if(lastOpt==0)
            {
                lcd.clear();
                lcd.print("Config. Dist.");
                lcd.setCursor(0, 1);
                lcd.print(dist);
                lcd.print(" cm  ");

                delay(1000);

                int qnew = dist;

                while(digitalRead(butPin)==LOW)
                {
                    int potVal = analogRead(potPin);
                    qnew = 1+map(potVal, 0, 1010, 0, 100);
                    lcd.setCursor(0, 1);
                    lcd.print(qnew);
                    lcd.print(" cm  ");
                }

                dist = qnew;
                delay(1000);
            }

            if(lastOpt==1)
            {
                lcd.clear();
                lcd.print("Config. Vel.");
                lcd.setCursor(0, 1);
            }
        }
    }
}

```

```

        lcd.print(vel);
        lcd.print(" km/h  ");

        delay(1000);
        float qnew = vel;

        while(digitalRead(butPin)==LOW)
        {
            int potVal = analogRead(potPin);
            qnew = map(potVal, 0, 1010, 0, 100);
            qnew/=10;
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print(qnew);
            lcd.print(" km/h  ");
        }

        vel = qnew;
        delay(1000);
    }

    if(lastOpt==2)
    {
        lcd.clear();
        lcd.print("Config. Quant.");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(quant);
        lcd.print(" sem.  ");

        delay(1000);
        int qnew = quant;

        while(digitalRead(butPin)==LOW)
        {
            int potVal = analogRead(potPin);
            qnew = 100+map(potVal, 0, 1010, 0, 100) * 10;
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print(qnew);
            lcd.print(" sem.  ");
        }

        quant = qnew;
        delay(1000);
    }

    if(lastOpt==3)
    {
        lcd.clear();
        lcd.print("Iniciando Teste:");
        delay(2000); // arrumar o delay
        break;
    }
} // end if(butVal==HIGH)

int potVal = analogRead(potPin);
int range = map(potVal, 0, 1010, 0, 7) % 4;

if (lastOpt != range)
{
    lastOpt = range;
    lcd.setCursor(0, 0);

```

```

        lcd.print(menu[range]);
        lcd.setCursor(0, 1);

        if(range<3)
        {
            lcd.print("Atual: ");
        }

        switch (range)
        {
            case 0:
                lcd.print(dist);
                lcd.print(" cm  ");
                break;

            case 1:
                lcd.print(vel);
                lcd.print(" km/h  ");
                break;

            case 2:
                lcd.print(quant);
                lcd.print(" sem.  ");
                break;

            case 3:
                lcd.print("          ");
                break;
        } // Fim do switch

        if(range<3)
        {
            lcd.print("  ");
        }

        } // Fim do if (lastOpt!=range)

    } // Fim do for (;;)

    lastVal = digitalRead(irPin);

    // inicia comunicação USB e manda as configurações do teste
    Serial.begin(9600);
    msg="i01="; msg.concat(dist);

    Serial.println(msg);
    msg="i02="; msg.concat(int(vel*10)); // velocidade em km/h*10

    Serial.println(msg);
    msg="i03="; msg.concat(quant);

    Serial.println(msg);

    // Calculos, para não precisar fazer no loop
    velMs = vel/3.6; // velocidade em Metros por Segundo
    distdup = dist/2.0; // Distância para ser considerada dupla
    distfal = dist*1.5; // distância para ser considerada falha

    // leitura da primeira semente
    lcd.clear();

```

```

    lcd.print("Esp. Semente 1.");

    for(;;)
    {
        irVal = digitalRead(irPin);

        if(lastVal!=irVal && irVal)
        {
            tone(spkPin, nota, 20);
            lastVal = irVal;
            break;
        }
    }

    lastSem = millis();

    lcd.clear();
    lcd.print("Testando: 0");

    Serial.println("s0:0"); // iniciando teste
}
// Fim do setup()

void loop() {
    irVal = digitalRead(irPin);
    butVal = digitalRead(butPin);

    digitalWrite(ledPin, irVal);

    // if(irVal!=lastVal && !irVal)

    if(irVal!=lastVal && irVal)
    {
        unsigned long distMs = millis()-lastSem;
        lastSem = millis();
        count++;
        tone(spkPin, nota, 20);

        lcd.setCursor(10, 0);
        lcd.print(count);

        float distSec = distMs/1000.0;
        float distM = distSec * velMs;
        float distCm = distM*100.0;
        float distCmm = distCm*10.0;

        if(distCm<distdup)
        {
            dupla++;
        }
        else if(distCm>distfal)
        {
            falha++;
        }

        msg="s";
        msg.concat(count);
        msg+=":";
        msg.concat(long(distCmm));
        msg+=":";
    }
}

```

```

        msg.concat(distMs);
        Serial.println(msg);
    }

    lastVal = irVal;

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("D: ");
    lcd.print(dupla);
    lcd.print(" F: ");
    lcd.print(falha);

    if(butVal==HIGH)
    {
        qbut++;

        if(qbut>500)
        {
            sai=1;
        }
    }
    else
    {
        qbut=0;
    }

    if((count>=quant) || sai)
    {
        delay(1000);

        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Teste Concluido!");

        float pdupla = 0.0;
        float pfalha = 0.0;

        pdupla=1.1;
        pfalha=1.2;

        pdupla=(dupla/float(count))*100.0;
        pfalha=(falha/float(count))*100.0;

        // Fim do log na porta serial
        if(sai)
        {
            Serial.println("x0:1"); // teste cancelado pelo usuário
        }
        else
        {
            Serial.println("x0:0"); // fim normal do teste
        }

        // Resultados no Fim do Teste
        while(1)
        {

            // Tres beeps
            tone(spkPin, nota, 20);
            delay(100);

```

```

tone(spKPin, nota, 20);
delay(100);

tone(spKPin, nota, 20);
delay(100);

// agora limpa o LCD e fica girando as informações
// com o resultado do teste
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("                ");

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("D: ");
lcd.print(dupla);

lcd.print(" - ");
lcd.print(pdupla);
lcd.print("%");

delay(3000);

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("                ");

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("F: ");
lcd.print(falha);

lcd.print(" - ");
lcd.print(pfalha);
lcd.print("%");

delay(3000);

// Alem do resultado do teste, tambem são
// apresentadas as configurações utilizadas no mesmo
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("                ");

// Contagem de sementes
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Quant: ");
lcd.print(count);

delay(3000);

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("                ");

// Velocidade da Esteira
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Vel: ");
lcd.print(vel);

delay(3000);

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("                ");

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Dist: ");

```

```
        lcd.print(dist);  
        delay(3000);  
    }  
}  
}
```