

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROTÓTIPO PARA INSPEÇÃO VISUAL AUTOMÁTICA DA QUALIDADE DE
FEIJÃO: CONCEPÇÃO, DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE CUSTOS**

ALEXANDRE CEZAR PIRES

São Paulo

2012

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROTÓTIPO PARA INSPEÇÃO VISUAL AUTOMÁTICA DA QUALIDADE DE
FEIJÃO: CONCEPÇÃO, DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE CUSTOS**

ALEXANDRE CEZAR PIRES

Dissertação apresentada como exigência parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção à Comissão Julgadora da Universidade Nove de Julho, sob orientação do Prof. Dr. Sidnei Alves de Araujo e co-orientação do Prof.Dr. José Carlos Curvelo Santana.

Sidnei Alves de Araújo

Prof. Doutor em Engenharia Elétrica

José Carlos Curvelo Santana

Prof. Doutor em engenharia Química

São Paulo

2012

Defesa de Mestrado aprovada em 12 de Dezembro de 2012 pela banca examinadora
constituída pelos professores:

Orientador: Profº Dr. Sidnei Alves de Araújo

UNINOVE

Co-orientador: Profº. Dr. José Carlos Curvelo Santana

UNINOVE

Membro externo: Profº. Dr. Luiz Carlos Bertevello

FATEC / UNICAMP

Membro interno: Profº. Dr. Thiago Michel de Brito Farias

UNINOVE

Membro suplente interno: Profº.Dr Fabio Henrique Pereira

UNINOVE

São Paulo, 12 de Dezembro de 2012

Dedico este trabalho à minha mãe Josefa de Jesus Pires,

Ao meu pai, Hercílio Cezar Pires

ao meu irmão Cláudio Cezar Pires

e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por guiar os meus caminhos e proporcionar esta oportunidade, ao Centro Universitário Nove de Julho por fornecer estrutura e apoio ao desenvolvimento dos meus estudos, aos meus orientadores Sidnei Alves de Araujo e José Carlos Curvelo Santana que acreditaram e confiaram na realização deste trabalho, ao coordenador da engenharia Elétrica da Uninove Jan Novaes Recicar que no início autorizou e me incentivou a cursar o mestrado, aos meus pais Hercílio Cezar Pires e Josefa de Jesus Pires por me incentivarem, me apoiarem e compreenderem, a meu irmão Claudio Cezar Pires por todo apoio e confiança, aos amigos do mestrado e em especial a Priscila e Rogério, aos professores Antônio Carlos Gasparetti, Luciano Miguel de Oliveira, Cleber Gustavo Dias, Raimundo Enoch, Alexandre Rigotti das Engenharias Elétrica e Produção da Uninove que auxiliaram na abordagem teórica do projeto, aos alunos de Iniciação científica Alexandre, Aloísio, Enildo e Gildárcio, graduandos do curso de Ciência da Computação, aos alunos Alessandro Strelow e Marcos Ossami, graduandos do curso de Engenharia Elétrica e o aluno Josinaldo, graduando do curso de Engenharia da Produção que ajudaram a desenvolver confecção da estrutura física do projeto, aos técnicos em marcenaria da Uninove, Francisco e Fernando que executaram os projetos de marcenaria, aos ascensoristas Edjane, Fátima Custódio, Viviane, José e pessoal da limpeza que sempre me auxiliavam no transporte e limpeza dos equipamentos, em especial aos meus amigos Fernanda Muller de Lima, Anna Prieto e Carlos Dantas que sempre me incentivaram e ajudaram a continuar e a nunca desistir e a todas as estas pessoas dedico este trabalho.

RESUMO

O feijão é uma leguminosa rica em energia e proteínas e representa, junto com o arroz, a base da dieta alimentar do povo brasileiro. Assim como a maioria dos produtos alimentícios, as propriedades visuais do feijão consistem em um critério importante para a sua escolha, pelo consumidor. No Brasil, o controle de qualidade do feijão e de muitos outros produtos alimentícios é feito de forma manual, seguindo regras e procedimentos operacionais do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Em processos manuais de inspeção de qualidade geralmente ocorrem alguns problemas como o alto custo e a falta de padronização dos resultados. Assim, surge a necessidade de automatizar tais processos com intuito de reduzir custos, padronizar resultados e também preservar a integridade física dos trabalhadores que atuam nestas atividades. Neste trabalho foi desenvolvido um protótipo de baixo custo para classificar o feijão de acordo com as suas qualidades visuais. Este protótipo foi composto por uma esteira que carrega as sementes de feijão até uma câmara para aquisição de imagens. Na parte superior da câmara há uma câmera para fazer a captura das imagens. As imagens adquiridas foram processadas em um PC Pentium dual core 2 duo, o qual apresenta em sua tela uma resposta para a qualidade da amostra de feijões analisada. Para tanto, um software baseado em técnicas de visão computacional foi desenvolvido. De acordo com os experimentos realizados, o protótipo desenvolvido poderia ser usado para melhorar o processo de controle de qualidade do feijão brasileiro.

Palavras-chave: feijão, de qualidade, padrões brasileiros, inspeção visual, visão computacional.

ABSTRACT

The bean is an important source of energy and protein, and is present in the daily diet of the Brazilian people. As most of food products, visual properties of beans are important mainly to help the choice of consumers. In Brazil, the quality inspection of food products is usually done manually by following rules and procedures of the Ministry of Agriculture Livestock and Supplies. In manual processes of quality inspection usually occur some problems such as high cost and lack of standardization of results. Thus, automated processes in order to reduce costs, standardize results and also preserve the physical integrity of workers who work in these activities are desirable. In this paper a prototype to classify beans according to their visual qualities has been developed. This prototype was composed by a conveyor belt which carries out the bean seeds to the box of image acquisition. At the top of acquisition box there is a camera to capture the images. The acquired images were processed on a PC Pentium dual core 2 duo, which displays on its screen a response to the quality of the analyzed sample of beans. To this end, a software based on computer vision techniques was implemented. According to performed experiments, the prototype can be used to enhance the quality control of Brazilian beans.

Keywords: beans, quality, Brazilian standards, visual inspection, computer vision.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

SNAB - Secretaria Nacional de Abastecimento

SVC - Sistema de Visão Computacional

RAS - Regras para Análise de Sementes

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento

GC - Cromatografia gasosa

GCMS - Cromatografia gasosa com espectroscopia de massa

RGB - Sistema de cores padrão para monitores (*R-Red*, *G-Green* e *B-Blue*)

L_{cc} - Limiar para filtragem de pequenos componentes conexos

CC - Componentes conexos

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Exemplo de feijão carioca comum pertencente à espécie <i>Phaseolus vulgaris</i> (L).	21
Figura 02 - Exemplo de feijão de corda pertencente à espécie <i>Vigna unguiculata</i> (L).....	22
Figura 03 - Variedades de feijões pertencentes aos grupos I e II.	23
Figura 04 - Esquema de um calador.	25
Figura 05 - Vizinhança de pixels. (a) conectividade-de-4, (a) conectividade-de-8.	35
Figura 06 - Esteira transportadora usada na seleção de grãos por inspeção visual.	37
Figura 07 - Desenho esquemático da esteira.	42
Figura 08 - Eixos e rolamentos utilizados na esteira.	43
Figura 09 - Rolo de impressora inutilizada e motor de passo.	44
Figura 10 - Trilho de cortina para apoio da placa de MDF e da placa de lona (cinta da esteira).....	44
Figura 11 - Parte dianteira da caixa separadora de grãos e a tampa com os pregos.	45
Figura 12 - Lâmpada circular fluorescente no suporte confeccionado.	45
Figura 13 - Compassos e lâmpadas dicróicas fixados em cada lado da câmara, na parte superior.....	46
Figura 14 - Circuito eletrônico para controle do motor de passo. (a) Visão da parte frontal - (b) Visão da parte traseira.	47
Figura 15 - Esquema de soldagem dos pinos do conector macho DB 25. (a) Esquema de soldagem indicado em MESSIAS (2006)- (b) Conector pronto.....	47
Figura 16 - Esquema elétrico do circuito de acionamento das lâmpadas.	48
Figura 17- Circuito eletrônico para acionamento das lâmpadas.(a) Visão da parte frontal - (b) Visão da parte traseira.	48
Figura 18 - Circuito eletrônico para controle das lâmpadas fixados na caixa de proteção	49
Figura 20 - Esquema de fixação do Motor de passo.....	50
Figura 21 - Esquema de funcionamento do protótipo da esteira.	51
Figura 22 - Fluxograma de atividades do SVC e controle da esteira.....	52
Figura 23 - Protótipo da esteira transportadora conectada ao PC. (a) Vista frontal (b) Vista lateral. (c) Amostra de feijão na cinta transportadora.	54
Figura 24 - Mancal confeccionado para fixação dos eixos.....	55
Figura 25 - Base da esteira com os dois rolos de impressora.	56
Figura 26 - Roletes que apóiam a cinta de transporte na base da esteira.	56

Figura 27 - Base da esteira completa.....	56
Figura 29 - Suporte das lâmpadas de iluminação. (a) Vista frontal do suporte. (b) Detalhe da lâmpada fixada ao suporte	57
Figura 30 - Caixa separadora de grãos de feijão.....	58
Figura 31 - Interface do SVC.	58
Figura 32 - Etapas intermediárias de processamento do SVC proposto.	60
Fonte: o autor	60
Figura 33 - Resultado do processamento do SVC proposto.	61
Figura 34 - Taxa de acertos considerando diferentes $L_{cc}'s$	65
Figura 35 - Precisão considerando diferentes $L_{cc}'s$	65
Figura 36 - Taxa de acertos versus a Precisão.	66
Figura 37 - Resultados do algoritmo contendo casos falsos positivos e falsos negativos. (a) Componentes conexos filtrados. (b) Falsos positivos causados por efeitos de sombra (círculos azuis), estrias escuras (círculos vermelhos) e efeitos de sombra + estrias escuras (círculo preto). (c)Componentes conexos filtrados (d) Falsos positivos (círculos amarelos) e falsos negativos (círculos laranja).....	67
Fonte: o autor	67
Figura 38 - Feijão mofado com colônias de fungos.....	82
Figura 39 - Feijões ardidos visivelmente fermentados.	82
Figura 41 - Feijões amassados.....	83
Figura 42 - Feijões danificados por outros insetos que picam os grãos.....	84
Figura 43 - Feijões brotados já germinados pela ação da umidade.	84
Figura 44 - Feijões enrugados não desenvolvidos completamente.....	85
Figura 45 - Fluxograma com as etapas de funcionamento do algoritmo proposto.	87

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Dimensões sugeridas de caladores do tipo simples	25
QUADRO 2 - Limites máximos de tolerâncias de defeitos	29

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Número de pontos de coletas de amostra em relação ao tamanho do lote	27
TABELA 2 - Resultados experimentais obtidos pelo SVC considerando $l_{cc}= 150$	63
TABELA 3 - Resultados experimentais obtidos pelo SVC considerando $l_{cc}= 120$	63
TABELA 4 - Resultados experimentais obtidos pelo SVC considerando $l_{cc}= 100$	64
TABELA 5 - Resultados experimentais obtidos pelo SVC considerando $l_{cc}= 60$	65
TABELA 6 - Custos de materiais	69
TABELA 7 - Custos de mão de obra.....	70
TABELA 8 - Itens com custos necessários para construir um protótipo esteira	71
TABELA 9 - Composição de preços	71

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	14
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVOS	16
<i>1.2.1 Objetivo Geral</i>	16
<i>1.2.2 Objetivos Específicos</i>	16
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	16
CAPÍTULO II	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 TRABALHOS CORRELATOS	17
2.2 CLASSIFICAÇÃO DO FEIJÃO BRASILEIRO	20
<i>2.2.1O início da norma no Brasil</i>	20
<i>2.2.2 Grupos, classes e defeitos do feijão</i>	21
<i>2.2.3 Defeitos encontrados no feijão</i>	23
<i>2.2.4 Classificação de defeitos, qualidade das amostras e tipos de classificação comerciais</i>	24
<i>2.2.5 Tipos</i>	28
<i>2.2.6 Procedimentos operacionais para realização do roteiro de classificação</i>	30
<i>2.2.7 Comparações e dificuldades encontradas entre a Lei nº 6.305 de 1975 com a Instrução Normativa nº 12 de 2008</i>	31
2.3 TÉCNICAS DE VISÃO COMPUTACIONAL	32
<i>2.3.1 Representação de imagens digitais</i>	33
<i>2.3.2 Limiarização</i>	33
<i>2.3.3 Componentes conexos</i>	34
<i>2.3.4 Operadores morfológicos</i>	35
<i>2.3.5 Homogeneidade na iluminação para melhoria da qualidade das imagens</i>	36
2.4 ESTEIRAS TRANSPORTADORAS DE PRODUTOS	36
2.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PRODUTOS	38
<i>2.5.1 Análise de custos</i>	40

CAPÍTULO III	42
3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO PROPOSTO	42
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS PRA CONFECCÃO DO PROTÓTIPO	42
3.2 MONTAGEM DA ESTEIRA	43
<i>3.2.1 Preparação da mesa (base da esteira)</i>	43
<i>3.2.2 Caixa separadora de grãos</i>	44
<i>3.2.3 Suporte para acoplar as lâmpadas e a câmera</i>	45
<i>3.2.4 Montagem do circuito eletrônico de controle</i>	46
<i>3.2.5 Fixação dos dispositivos de controle</i>	49
3.3 SISTEMA DE VISÃO	50
3.4 ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO	50
<i>3.4.2 Passos para funcionamento do SVC e controle</i>	51
3.5 METODOLOGIA PARA CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	53
CAPÍTULO IV	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1 O PROTÓTIPO PROPOSTO	54
4.2 RESULTADOS PRELIMINARES COM O SVC	59
4.3 ANÁLISE DO CUSTO DE FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO PARA INSPEÇÃO AUTOMÁTICA DO FEIJÃO	67
5. CONCLUSÕES	71
5.1 TRABALHOS FUTUROS	72
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXO A: Subclasses do feijão segundo a normal e nº 93.563 e instrução normativa nº 12	81
ANEXO B: Defeitos encontrados no feijão segundo a normal e nº 93.563 e instrução normativa nº 12	82
ANEXO C: Fluxograma do algoritmo proposto	87
ANEXO D: Trabalhos resultantes desta dissertação publicados em anais de eventos científicos	88

CAPÍTULO I

Neste capítulo contextualiza-se o tema abordado, apresentam-se a justificativa, os objetivos e a motivação para realização deste trabalho bem como sua contribuição para as áreas acadêmica e social.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura tem o papel de suprir a demanda por alimentos, fibras e vitaminas de uma população que está em crescimento. É forte a preocupação mundial pelo desgaste que as atividades agrícolas causam ao meio ambiente e também pela falta de alimentos com qualidade que afetam diversas partes do globo.

O feijão é uma das principais fontes de energia e de proteínas e representa, junto com o arroz, a base da dieta alimentar do brasileiro (ARAÚJO NETO, 2004). Assim como a maioria dos produtos alimentícios, as propriedades visuais do feijão são importantes tanto para a sua escolha pelo consumidor quanto para a determinação do seu preço, pelo fornecedor (FUGITA, 1999).

A qualidade do feijão consumido no país segue um conjunto de normas e procedimentos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) que são utilizadas para o enquadramento do produto em Grupo, Classe e Tipo. O Grupo refere-se à espécie botânica, podendo o feijão ser enquadrado no Grupo I, quando pertencente à espécie *Phaseolus vulgaris* (L) (carioca, preto, branco), ou ao Grupo II (Feijão de corda), quando pertencente à espécie *Vigna unguiculata* (L.). A Classe identifica o feijão de acordo com a coloração da película (Preto, Branco, Cores), independente do Grupo. Já o Tipo está relacionado às características qualitativas do produto, sendo definido de acordo com os limites máximos de tolerância de defeitos encontrados na amostra. Os principais defeitos são: ardidos, mofados e carunchados (MAPA, 2011a e 2011b).

Basicamente, a classificação do feijão é feita de forma manual e consiste em extrair uma amostra de no mínimo 250g de um lote de feijão, separar as matérias estranhas e impurezas, utilizando uma peneira de crivos circulares de 5 mm de diâmetro e fazer uma inspeção visual da amostra, depois de extraídas as matérias estranhas e impurezas, para determinação de Grupo, Classe e Tipo. Cabe ressaltar que todo este processo deve ser feito com base nos procedimentos operacionais estabelecidos pelo Ministério da Agricultura (MAPA, 2011b).

A importância da classificação pelo tamanho e cor das sementes durante a inspeção visual se faz necessário para o processo de qualidade e classificação quanto ao tipo de produto, porém inúmeros fatores interferem neste processo de seleção, uma vez que são encontrados diversos defeitos durante a colheita e armazenamento do produto.

Em adição, há outros problemas associados aos processos de inspeção manual da qualidade de produtos, como é o caso do feijão, como o alto custo do processo e a dificuldade de padronização dos resultados (KILIÇ, 2007). Além disso, a capacidade humana de detecção sensorial pode ser facilmente afetada por fatores ambientais e pessoais (PESANTE-SANTANA e WOLDSTAD, 2000).

Neste cenário, são desejáveis processos automatizados que possam trazer benefícios, como redução de custos, padronização dos resultados, recolhimento do produto quando não atende aos padrões de qualidade e que possam afetar a saúde humana e a preservação da integridade física dos trabalhadores. Assim, vários pesquisadores têm proposto sistemas automáticos para tarefas de inspeção visual. Entre eles podemos citar (ROSENBERGER et al., 2004; KILIÇ et al., 2007; MACHADO, 2009; MENDOZA et al., 2010; ANAMI e SAVAKAR, 2010).

1.1 Justificativa

O Brasil é o maior produtor de feijão, produto que faz parte da cultura e dieta básica do povo brasileiro, tem uma grande importância na economia do país e possui uma legislação de controle de qualidade. Contudo, a classificação do feijão brasileiro ainda é feita de forma manual.

Na revisão da literatura, apenas os artigos de KILIÇ(2007); VENORA(2009) e LAURENT(2010) abordam soluções tecnológicas aplicadas na classificação de feijão. No entanto, esses trabalhos consideram apenas espécies de feijões que não são comumente consumidos no Brasil.

Este trabalho é direcionado para o setor agrícola brasileiro, onde o controle de qualidade do produto é trabalhoso para se obter. O intuito é contribuir para melhoria da produtividade e manutenção de um alto padrão na seleção de grãos, pelo uso de um protótipo para auxiliar na tarefa de inspeção visual de feijões.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de custo mais acessível e acoplado ao mesmo, um sistema que utiliza técnicas de visão computacional para auxiliar no processo de classificação automática de sementes de feijão, com base em atributos de cor.

1.2.2 Objetivos Específicos

Levantar os procedimentos para classificação de feijões e fazer uma análise das dificuldades para manter os padrões requeridos pelo Ministério da Agricultura Brasileiro;

Desenvolver um protótipo de esteira automatizada com uma câmera acoplada, de baixo custo, controlado pela porta paralela do PC, para auxiliar na melhoria do processo de classificação e inspeção da qualidade do feijão brasileiro;

Acoplar o sistema de visão computacional desenvolvido à esteira com o intuito de fazer experimentos simulando o processo de inspeção em escala industrial;

Realizar um estudo da viabilidade econômica deste protótipo.

1.3 Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira: no capítulo 2 são apresentados os principais trabalhos relacionados com o desenvolvimento das soluções tecnológicas aplicados no controle de qualidade de diversos produtos agrícolas, conceitos teóricos acerca das normas e procedimentos utilizados para classificar o feijão, das técnicas de visão computacional empregadas no desenvolvimento do sistema de visão computacional (SVC) proposto para classificação das sementes de feijão e dos custos envolvidos na produção do protótipo. Em seguida, no capítulo 3, descrevem-se os materiais, métodos e técnicas utilizados na confecção do protótipo da esteira e do SVC, além da metodologia para condução dos experimentos. No capítulo 4 são apresentados os resultados experimentais. No capítulo 5 são apresentadas as conclusões e o plano de ações para a continuidade do trabalho. Os anexos A, B e C contêm, respectivamente, as subclasses do feijão, segundo a norma Lei nº 93.563, os defeitos encontrados nos feijões e os trabalhos resultantes desta dissertação publicados em anais de congressos.

CAPÍTULO II

Neste capítulo apresentam-se os principais trabalhos relacionados com o desenvolvimento de soluções tecnológicas aplicados no controle da qualidade de diversos produtos agrícolas (incluindo feijões), as normas e procedimentos utilizados para classificar o feijão, os conceitos teóricos acerca das técnicas de visão computacional empregadas no desenvolvimento do SVC para classificação das sementes de feijão bem como dos custos envolvidos na produção do protótipo desenvolvido.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Trabalhos correlatos

Em resposta aos elevados níveis de qualidade exigidos para os produtos alimentícios e com as necessidades de rentabilidade e explorações agrícolas, a utilização de sistemas automáticos tem aumentado nas últimas décadas. Existem exemplos onde os esforços estão sendo combinados para desenvolver este tipo de aplicação na agricultura, incluindo localização de frutas, colheitas e o controle de qualidade, entre outros. Fazendo uma comparação às soluções tradicionais, que empregam o trabalho manual, estes sistemas modernos contribuem para melhorar a qualidade dos produtos e, ao mesmo tempo, aumentar a rentabilidade, devido a sua elevada disponibilidade (PEREIRA, 2009).

Os produtos agrícolas de alta qualidade dependem não só do momento da colheita, mas de alguns outros fatores, que podem variar de acordo com a região. Assim, vários métodos e técnicas têm sido desenvolvidos, tais como: avaliação fisiológica do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) pelo teste de Tukey (SILVA et al., 2012.); controle de doenças em sementes de feijão carioca devido a *Fusarium oxysporum* f. sp. *Phaseoli* (também denominada murcha de *fusarium*, doença causada por fungos), pelo melhoramento genético (PEREIRA et al., 2011.); controle de qualidade do óleo essencial extraído de *Ocimum basilicum* L. (manjerição) usando técnicas de cromatografia gasosa (GC) e cromatografia gasosa com espectroscopia de massa (GCMS) (ROSADO et al., 2011.); análise do tempo, temperatura e luz durante o armazenamento e seus efeitos sobre a qualidade do suco de abacaxi (BORGES et al., 2011.); secagem de sementes de milho (*Zea mays* L.) em um secador de ar para obter a melhor qualidade do malte de milho (SANTANA et al., 2010; BENVENGA et al., 2011.); avaliação do efeito do tipo de corte na preservação da qualidade de abóbora moranga

(*Cucurbita moschata*) (VILAS BOAS et al., 2011.) e a avaliação de qualidade do vinho de acerola (*Malpighia glabra L.*) por meio de Metodologia de Superfície de Resposta (ALMEIDA et al., 2010).

Atualmente, o uso de ferramentas computacionais para auxiliar o desenvolvimento e avaliação de qualidade dos produtos agrícolas tem sido incentivado, principalmente pela disponibilidade de computadores com maior poder de processamento, capazes de resolver problemas complexos em um tempo computacional viável. Assim, diversos trabalhos usando este ferramental podem ser encontrados na literatura. Alguns deles são relacionados a seguir.

Machado (2009) empregou algoritmos de visão computacional e redes neurais para a identificação de defeitos em ovos, com base em informações de contorno, cores e texturas de defeitos como a trinca.

Castro et al. (2012) desenvolveu um modelo baseado na teoria dos conjuntos *fuzzy* para prever o peso de ovos de codornas japonesas. O sistema difuso desenvolvido apresentou baixos percentuais de erro, permitindo uma estimativa realista do peso de ovos em diferentes condições ambientais.

TAMBUR et al. (2007) desenvolveram um sistema inspeção visual automática para analisar carga de vagões ferroviários utilizando técnicas de processamento de imagens como a Transformada de Hough e outros métodos baseados em cor e textura para identificação de regiões com possíveis objetos sobrepostos.

Outros trabalhos desenvolvidos para melhoria do processo de qualidade de produtos agrícolas, utilizando recursos computacionais, são abordados por SANTANA et al. (2010) e BENVENGA et al. (2011) utilizando, respectivamente, as técnicas de Algoritmo Genético (AG) e Simulated Annealing (AS) para a otimização no processo de secagem do malte de milho.

Não obstante, o uso técnicas de visão computacional para auxiliar no controle de qualidade de produtos agrícolas também tem sido incentivado nas últimas décadas (GASTELUM-BARRIOS et al., 2011). Neste campo, MENDOZA et al. (2010) desenvolveram um sistema de visão computacional para avaliar a superfície de algumas frutas e legumes. Já PEREIRA (2009) desenvolveu e aplicou um sistema de visão de máquina capaz de localizar uvas em ambiente natural, considerando duas regiões de Portugal.

PEREIRA et al. (2012) propuseram um sistema de inferência para o reconhecimento da vinha usando fotografias aéreas digitais e, neste contexto, IQBAL (2011) desenvolveu um sistema para análise de áreas de plantações de arroz e trigo, a partir de imagens de satélite. Com base nos resultados obtidos, o autor pode inferir que 19% das áreas de cultivo de arroz e trigo analisados são afetadas por saís.

Alguns autores utilizaram sistemas de visão computacional para seleção e melhoria de qualidade de frutas e grãos, os quais, por meio de imagens digitais reconhecem o produto pelo formato, cor e tamanho. Entre eles estão o trabalho de ROSENBERGER et al. (2004) que propuseram um sistema de controle de qualidade de cerejas por meio da visão artificial. O sistema seleciona o fruto recorrendo não apenas a sua cor, mas levando também em conta, o tamanho e o aspecto da superfície, permitindo detectar possíveis defeitos no fruto. A solução apresentada pelos autores é capaz de processar 20 cerejas por segundo.

No que se refere à inspeção de feijões, KILIÇ et al. (2007) propuseram um SVC para classificar sementes de feijão com base na cor e no tamanho das sementes, utilizando histogramas de cores; LAURENT et al. (2010) utilizaram técnicas de processamento de imagens para avaliar alterações na coloração do feijão durante o armazenamento com intuito de relacionar estas alterações com o fenômeno conhecido como “grãos difíceis de cozinhar” e VENORA et al. (2009) propuseram um sistema baseado em análise de imagens para identificar 15 variedades de feijões cultivados em duas regiões da Itália, a partir da forma cor e tamanho dos grãos.

Os SVCs, em algumas circunstâncias, podem ser programados para trabalharem com de imagens em tons de cinza ao invés do colorido, facilitando o tempo de processamento e melhorando a rapidez de resposta, para verificação de defeitos superficiais. Tal exemplo é visto no trabalho de OLIVEIRA et al. (2008) que abordou a questão da detecção de defeitos em madeira de pinho com base em características de textura extraídas de imagens em tons de cinza. Os resultados experimentais mostraram que o método proposto obteve um desempenho muito competitivo para o problema da detecção de defeitos de madeira, quando comparado com características de imagem baseadas em atributos de cores.

De acordo com SIMÕES e COSTA (2003), o método usual para a classificação de frutos e sementes é a inspeção visual humana. Atributos importantes nessa tarefa como a forma e a cor dos frutos e sementes são padronizados por instituições especiais. A automatização deste processo com base em imagens digitais destes produtos agrícolas traz

como principais problemas: i) inexistência de uma descrição formal de padrões de produtos; ii) inexistência de conhecidos modelos e ferramentas computacionais destinados a produtos de classificação e iii) dependência do condições ambientais de iluminação.

Como se pode observar na relação de trabalhos anteriormente listados, especificamente para a tarefa de classificação automática de sementes de feijão, apenas os trabalhos propostos por (KILIÇ, 2007; VENORA, 2009; LAURENT, 2010), foram encontrados na revisão da literatura realizada até o momento da elaboração deste trabalho. Além das abordagens propostas por estes autores possuírem algumas limitações como a necessidade de certo distanciamento entre os grãos para que sejam corretamente reconhecidos, o uso de descritores de texturas pouco discriminativos e o tempo de processamento elevado, elas não consideram os feijões do Grupo I, que estão entre os mais consumidos no Brasil.

2.2 Classificação do feijão Brasileiro

De acordo com a Lei nº 93.563, de 11 de novembro de 1986, a tarefa de classificação do feijão é de responsabilidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), ficando sujeita à organização normativa, à supervisão técnica e à fiscalização específica da Secretaria Nacional de Abastecimento – SNAB. O peso, o volume e o número de vias das amostras, bem como as condições técnicas a serem observadas na retirada dessas amostras, inclusive acondicionamento, embalagem, transporte e conservação, serão fixados por produto, nas suas respectivas especificações, ou conforme estabelecido pela Secretaria Nacional de Abastecimento – SNAB.

Com o passar dos anos, a lei citada foi sendo aprimorada e, de acordo com a Instrução Normativa nº 12 de 28 de março de 2008, o processo de inspeção e qualidade ficou mais difícil de ser alcançado pela alta rigidez de controle (MAPA, 2011a).

2.2.10 início da norma no Brasil

A necessidade deste rico grão que compõe a base da alimentação do brasileiro faz com que o Brasil lidere o ranking de maior produtor mundial de feijão, com uma produção média anual de 3,5 milhões de toneladas (MAPA, 2011b). Geralmente, o feijão é cultivado por pequenos, médios e grandes produtores em todas as regiões, sendo os maiores produtores os

estados Paraná e Minas Gerais, cujas produções somadas totalizaram 512 mil toneladas no ano de 2010 (CONAB, 2011), permitindo que o Brasil esteja como principal produtor global de feijão.

Neste contexto de liderança, como o maior produtor, e também para manter sua posição no mercado internacional, a partir da década de 70, o Brasil viu a necessidade de criar uma normalização dos padrões de classificação das sementes de feijão para atender os mercados interno e o externo. Em 15 de dezembro de 1975, foi assinada a Lei nº 6.305, substituída pelo Decreto nº 93.563 de 11 de novembro de 1986 e atualmente sendo complementada pela Instrução Normativa de nº 12, de 28 de março de 2008 e pela Instrução Normativa nº 56, de 24 de novembro de 2009, que regem de forma padronizada todo o processo de classificação do feijão com relação a grupo, classe e tipo.

2.2.2 Grupos, classes e defeitos do feijão

2.2.2.1 Grupos

Segundo a norma Lei nº 6.305 de 15/12/75, hoje regida pela Instrução Normativa nº 12 de 28/03/2008, os feijões são agrupados de acordo com sua espécie botânica. Há dois grandes grupos, a espécie *Phaseolus vulgaris* (L), conhecido com feijão carioca, comum e cultivado em todo território brasileiro, exemplo visto na Figura 01 e representando o grupo I e a espécie *Vigna unguiculata* (L) walp, conhecido por alguns nomes como feijão de corda, feijão caçapar e caupi, Figura 02, representando o grupo II.



Figura 01 - Exemplo de feijão carioca comum pertencente à espécie *Phaseolus vulgaris*(L).

Fonte: Portal do Agronegócio (2012a)



Figura 02 - Exemplo de feijão de corda pertencente à espécie *Vigna unguiculata* (L).

Fonte: Portal do Agronegócio (2008b)

Há outras espécies como a *Cajanus cajan*, conhecida como feijão-guandu ou andu, que é predominante na região nordeste. Contudo, neste trabalho são consideradas apenas as duas primeiras espécies citadas que representam os dois principais grupos.

2.2.2.2 Classes no Brasil

As classes do feijão são definidas de acordo com a coloração da película, podendo ser divididas em subclasses (EMBRAPA). Cada grupo possui 4 classes identificadas que possuem características particulares quanto à tolerância de misturas de cores (MAPA, 2011a).

Grupo I:

Branco: deve conter 97% de grãos com coloração branca,

Preto: deve conter 97% de grãos com coloração,

Cores: contém grãos coloridos, admite 3% de mistura de outras classes e até 10% de outras cultivares da classe cores, desde que apresentem cores contrastantes ou tamanhos diferentes,

Misturado: é o produto que não atende a nenhuma das especificações das classes anteriores.

Grupo II:

Branco: deve conter 90% de grãos com coloração branca,

Preto: deve conter 90% de grãos com coloração,

Cores: contém grãos coloridos, admite 10% de mistura de outras classes e até 10% de

outras cultivares da classe cores, desde que apresentem cores contrastantes ou tamanhos diferentes.

Misturado: é o produto que não atende a nenhuma das especificações das classes anteriores.

Tanto no grupo I quanto no grupo II, as subclasses consideradas têm características variadas em relação a tamanho, forma, textura e cor, conforme exemplo visto na Figura 03, na qual se observa a variedade de feijão. As subclasses foram criadas a partir de 1980 pela Embrapa, vinculada ao Ministério da Agricultura, e que foi responsável em desenvolver novas espécies para resistência a doenças e clima e melhoria de produtividade, conforme solicitação dos produtores de feijão. Tais subclasses são dispostas no Anexo A.



Figura 03 - Variedades de feijões pertencentes aos grupos I e II.

Fonte: NETTO (2007)

2.2.3 Defeitos encontrados no feijão

São muitos os defeitos encontrados no feijão e a homogeneidade da coloração em um pacote de um quilo, é uma variante importante a ser considerada. Um hipermercado ao comprar um lote de embalagens de um quilo ou um varejista que adquire a saca de 60 quilos exige que tal produto realmente tenha a coloração especificada. Dentre os problemas encontrados estão os grãos avariados ou grãos inteiros que acabam sendo partidos ou quebrados e os grãos que apresentam um ou mais dos seguintes defeitos: mofados, ardidos, amassados, danificados por insetos (picados), brotados, enrugados, manchados, descoloridos,

além dos prejudicados por diferentes causas; (MAPA, 2011a). Tais defeitos ou problemas são descritos e detalhados no Anexo B.

2.2.4 Classificação de defeitos, qualidade das amostras e tipos de classificação comerciais

2.2.4.1 Classificação de defeitos

Os defeitos do feijão são classificados em dois grupos como graves ou leves, conforme a gravidade, a qual pode inviabilizar a comercialização do produto.

- a) Graves:** são aqueles cuja presença na amostra ou incidência sobre o grão compromete seriamente a aparência, conservação e qualidade do produto, restringindo ou inviabilizando o uso do mesmo. Neste grupo consideram-se os ardidos, carunchados, germinados, com impurezas ou matérias estranhas e mofados.
- b) Leves:** são aqueles cuja incidência sobre o grão não restringem ou inviabilizam a utilização do produto, por não comprometer seriamente sua aparência, conservação e qualidade. Neste grupo consideram-se os amassados, danificados, quebrados e partidos.

2.2.4.2 Qualidade das amostras

Para um bom resultado na classificação de sementes, faz-se necessário uma boa quantidade de amostras colhidas no lote e em proporções semelhantes. Geralmente essa quantidade de sementes colhidas para análise é muito pequena devido a não uniformidade na hora de retirada dos lotes pelo técnico. Para se obter resultados precisos e uniformes, é essencial que as amostras sejam colhidas segundo métodos estabelecidos pelo Ministério da Agricultura e pelo manual de Regras para Análise de Sementes - RAS (RAS, 2009).

Mesmo que o procedimento técnico seja feito conforme as normas e técnicas estabelecidas, o processo não garante um controle de qualidade de 100% do lote. Outro fator a ser considerado é a quantidade e a qualidade das amostras enviadas para análise nos laboratórios credenciados.

O RAS instrui que o lote das sementes deve ser o mais homogêneo possível, entretanto isso é quase impossível uma vez que uma saca de sementes contém 60 kg, tornando difícil controlar a uniformidade.

Quando estocadas em lotes, as sacas de feijão que estão empilhadas ou agrupadas umas com as outras devem ser dispostas de tal forma que possua no mínimo duas faces expostas, com espaçamentos entre pilhas e entre pilhas e paredes, que permitam a coleta de uma amostragem representativa. Estas amostras devem ser retiradas do lote por meio de caladores, instrumentos confeccionados em metal para retirada dos grãos (Figura 04), e seguindo as especificações técnicas apresentadas no Quadro 1.

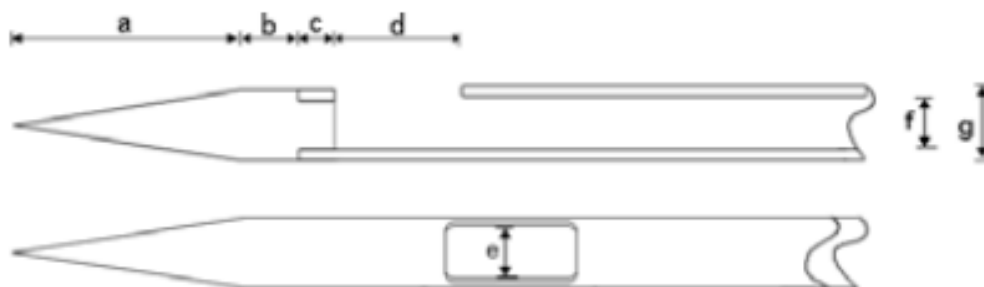


Figura 04 - Esquema de um calador.

Fonte: manual do RAS (2009)

Quadro 1 - Dimensões sugeridas de caladores do tipo simples.

Tamanho do calador *	Dimensão em centímetros (cm) de acordo com a figura						
	Comprimento da ponta a	Comprimento do ombro b	Comprimento da saliência c	Comprimento da abertura d	Largura da abertura e	Diâmetro interno f	Diâmetro externo g
A	4,2	0,7	0,8	2,0	0,8	1,0	1,2
B	8,5	1,2	1,0	3,3	1,1	1,3	1,5
C	8,2	1,2	1,3	4,0	1,5	1,7	1,9
D	7,8	1,5	1,5	4,0	1,8	2,0	2,2

A – para espécies de feijão de tamanhos semelhantes às sementes de carioca comum, B – para espécies de tamanho semelhante a sementes de branquiária e trigo, C – para espécies de tamanho semelhante a sementes de soja, D – para espécies de tamanho semelhante as sementes milho. Fonte: manual do RAS (2009).

Cabe ressaltar que não é permitido o uso de qualquer outro calador, comumente denominado “ladrao” ou “furador”, que não atenda as especificações mostradas no Quadro 1.

Estudos realizados com sementes de feijão, considerando comprimento, espessura e largura dos grãos mostraram que massa de cem sementes de feijão carioca colorido é de aproximadamente 24g e que esta espécie representa 42% das espécies do grupo. Assim, basta fazer um cálculo rápido, usando a regra de três, para inferir que um quilo de feijão carioca colorido possui aproximadamente 4.167 grãos. Este cálculo pode ser visto na Equação 1.

$$x = \frac{1000 * 100}{24} \quad (1)$$

Onde:

X é o número de feijões a serem encontrados,

1000 equivalem a 1000 g ou 1 kg,

24 equivalem à massa média, em gramas, encontrada no estudo para cada cem sementes do feijão carioca,

100 da regra de três

Fazendo-se outro cálculo rápido, pode-se estimar que uma saca de 60 kg contenha aproximadamente 250.000 sementes, como mostra a Equação 2.

$$x = 60 * 4167 \quad (2)$$

Onde:

X é o número de feijões a serem encontrados,

60 é a massa da saca em quilos,

4.167 é o número estimado de grãos encontrados em um pacote de um quilo de feijão.

Segundo a instrução Normativa nº 12, o feijão poderá ser encontrado ensacado em pacotes de 1kg, saca de 60kg, caminhões e vagões com 15, 30 e acima de 30 toneladas e, em cada situação, é estipulado uma quantidade mínima de verificação do produto, conforme descrito a seguir:

a) Feijão ensacado por furação ou calagem numa proporção mínima de 30g (trinta gramas) de cada saco, da seguinte maneira:

- **Na entrada do armazém:** Fazer a calagem saco a saco;
- **No Lote:** Fazer a calagem de 10% (dez por cento), no mínimo, dos sacos que compõem o lote, tomados inteiramente ao acaso.

b) **Feijão a granel** podendo este estar sendo transportado por veículo, caminhão ou vagão deverá conter uma amostra mínima de dois quilos, observando os critérios relacionados na Tabela 1.

Tabela 1 -Número de pontos para coleta de amostras em relação ao tamanho do lote.

Quantidade de produtos que constitui o lote (em toneladas)	Número mínimo de pontos a serem amostrados
Até 15 toneladas	5
De 15 até 30 toneladas	8
Mais de 30 toneladas	11

Fonte: Instrução Normativa nº 12 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2011a).

c) **Feijão Empacotado** será retirado, no mínimo, 1% (um por cento) do número total de pacotes compõem o lote.

Além destas regras, outras também são estipuladas pela norma e estão fielmente descritas a seguir conforme Artigo 11, Parágrafo II sobre a amostragem para o feijão para manter uma qualidade de amostragem:

“PAR. II - o total de produto amostrado deverá ser homogeneizado, quarteado e reduzido em, no mínimo, 4 kg (quatro quilogramas) para compor, no mínimo, 4 (quatro) vias de amostras, constituídas de, no mínimo, 1 kg (um quilograma) cada, que serão representativas do lote.

2º A amostragem em equipamentos de movimentação ou grãos em movimento nos casos de carga, descarga ou transilagem deverá observar a seguinte metodologia:

I - a coleta das amostras deve ser feita com equipamento apropriado, realizando-se coletas de 500 g (quinhentos gramas) nas correias transportadoras e extraído-se, no mínimo, 10 kg (dez quilogramas) de produto para cada fração de, no máximo, 500 t (quinhentas toneladas) da carga a ser amostrada, em intervalos regulares de tempos iguais calculados em função da vazão de cada terminal;

II - Os 10 kg (dez quilogramas) extraídos de cada fração de, no máximo, 500 t (quinhentas toneladas) deverão ser homogeneizados, quarteados e reservados para comporem a amostra que será analisada a cada 5.000 t (cinco mil toneladas) do lote, no máximo;

III - a cada 5.000 t (cinco mil toneladas), no máximo, juntar as 10 (dez) amostras parciais que foram reservadas conforme o inciso II, que deverão ser homogeneizadas, quarteadas e reduzidas em, no mínimo, 4 kg (quatro quilogramas) para compor, no mínimo, 4 (quatro) vias de amostras, constituídas de, no mínimo, 1 kg (um quilograma) cada, que serão representativas do lote.

3º A amostragem em armazém convencional no caso de produto ensacado deverá observar a seguinte metodologia:

I - a coleta no lote será feita ao acaso em, no mínimo, 10,00% (dez por cento) dos sacos, devendo abranger todas as faces da pilha;

II - a quantidade mínima de coleta será de 30 g (trinta gramas) por saco, até completar, no mínimo, 10 kg (dez quilogramas) do produto que deverá ser homogeneizado, quarteado e reduzido em, no mínimo, 4 kg (quatro quilogramas) para compor, no mínimo, 4 (quatro) vias de amostras, constituídas de, no mínimo,

1 kg (um quilograma) cada, que serão representativas do lote.”(MAPA, 2011a).

2.2.5 Tipos

Os feijões dos grupos I e II podem ter três classificações de 1 a 3, conforme a atual legislação e de acordo com a qualidade e limites máximos de tolerâncias de defeitos, conforme mostrado no Quadro 2. A umidade, impurezas e matérias estranhas encontradas do feijão também não poderão passar do limite máximo permitido, no caso:

Umidade com uma percentagem de até 14%;

Impurezas e matérias estranhas até 2%.

De acordo com a instrução normativa nº 12 do MAPA, o feijão que apresentar um percentual de tolerância de defeito acima do permitido será considerado abaixo do padrão.

Quadro 2 – Limites máximos de tolerâncias de defeitos.

Enquadramento do Produto	Defeitos Graves				Total de Defeitos Leves
	Matérias Estranhas e Impurezas		Total de Mofados, Ardidos e Germinados	Total de Carunchados e Atacados por Lagartas das Vagens	
	Total	Insetos Mortos (*)			
Tipo 1	De zero a 0,50%	De zero a 0,10%	De zero a 1,50%	De zero a 1,50%	De zero até 2,50%
Tipo 2	Acima de 0,50% até 1,0%	Acima de 0,10% até 0,20%	Acima de 1,50% até 3,0%	Acima de 1,50% até 3,0%	Acima de 2,50% até 6,50%
Tipo 3	Acima de 1,0% até 2,0%	Acima de 0,20% até 0,30%	Acima de 3,00% até 6,00%	Acima de 3,00% até 6,00%	Acima de 6,00% até 16,00%
Fora de Tipo	Acima de 2,05 até 4,0%	Acima de 0,30% até 0,60%	Acima de 6,00% até 12,00%	Acima de 6,00% até 12,00%	Acima de 16,00%
Desclassificado	Acima de 4,0%	Acima de 0,60%	Acima de 12,00%	Acima de 12,00%	
(*) Máximo de insetos mortos permitidos, dentro do total de Matérias Estranhas e Impurezas					

Fonte: Instrução Normativa nº 12 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2011a).

Em resumo, é desclassificado, o feijão que apresentar:

- Mau estado de conservação;
- Percentual de defeitos graves acima do permitido;
- Percentual de insetos mortos acima de 0,60%;
- Presença na amostra, na carga ou no lote amostrado, de bagas de mamona, sementes tratadas, sementes tóxicas, insetos vivos e outras pragas de grãos armazenados;
- Odor estranho de qualquer natureza.

2.2.6 Procedimentos operacionais para realização do roteiro de classificação

Através da Instrução Normativa nº 12, o Ministério da Agricultura determina como realizar o procedimento para amostragem simples. Para tanto, os passos a seguir devem ser executados:

- Separar amostra de 1 kg e verificar se não há insetos, carunchos, impurezas e matérias estranhas;
- Separar 250g e enviar para análise de umidade;
- Separar 250g para amostra na realização do experimento;
- Aferir a balança;
- Separar as matérias estranhas e impurezas, utilizando uma peneira de crivos circulares de 5 mm e balançando por 30s;
- Grãos, pedaços aderidos de feijão, insetos ou qualquer matéria estranha presos nos crivos da peneira deverão ser separados, assim como os que forem maior que 5 mm e ficarem na peneira deverão ser retirados e pesados.
- Separar os insetos mortos, anotar no laudo o peso em gramas e seu percentual;
- Somar o peso de todas as matérias estranhas, impurezas, insetos mortos e anotar no laudo de classificação;
- Se o total de matérias estranhas e impurezas ultrapassarem 4% ou o percentual de insetos mortos for superior a 0,60%, o produto é considerado desclassificado;
- Transformar o peso das matérias estranhas em percentual:
 - Pegar o peso de matérias estranhas e impurezas ou insetos mortos;
 - Dividir pelo peso da amostra;
 - Multiplicar por 100.
- Anotar resultado no laudo.

Os grãos dos grupos I e II (a maioria consumidos por pessoas brasileiros) podem ter três classificações numeradas de 1 a 3, de acordo com as tolerâncias de qualidade e máximo de defeitos, tais como o teor de umidade, de impurezas e materiais estranhos encontrados em grãos que não podem passar o máximo permitido (MAPA, 2011a).

2.2.7 Comparações e dificuldades encontradas entre a Lei nº 6.305 de 1975 com a Instrução Normativa nº 12 de 2008

No cenário econômico brasileiro, a agricultura vem contribuindo para o crescimento da economia e os reflexos gerados pelo Produto Interno Bruto (PIB) causam o aumento das exportações e a geração de empregos. Assim, faz-se necessário investir em novas tecnologias para aumentar a produtividade, diminuir perdas e melhorar a qualidade de seleção e classificação de produtos para um mercado cada vez mais exigente e competitivo. O principal objetivo da agricultura é maximizar a eficiência de produção e colheita dos diversos produtos. No que tange aos grãos, o feijão é um caso especial já que o Brasil é o maior produtor deste grão que faz parte da alimentação e cultura brasileira e é também um propulsor da economia. Para se ter uma idéia, somente em 2010, as três safras de feijão produzidas no país totalizaram 3.608,8 mil toneladas, segundo dados do CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). (CONAB,2011).

Desde 1975 a até os dias atuais a lei vem se aperfeiçoando para melhoria da qualidade de classificação do feijão. Fazendo um comparativo somente entre o Decreto nº 93.563 em 11 de novembro de 1986 com a Instrução Normativa de nº 12, de 28 de março de 2008, é possível verificar uma maior rigidez com relação a esta classificação. Em alguns pontos observados verifica-se que:

Em ambas as classes e nos dois grupos do feijão, o controle da quantidade de grãos da mesma espécie botânica em uma amostra ou porção ficou mais próxima de 100% o que torna o controle que é feito manualmente muito difícil de ser executado para garantir a classificação do tipo de feijão. No caso do grupo I a porcentagem de grãos subiu de 95 para 97% e no grupo II a passou de 80 para 90%.

A porcentagem de umidade máxima presente nos grãos caiu de 15% para 14%;

Impurezas e matérias estranhas máximas permitidas que antes eram de 4% caiu para 2%;

Na classificação do feijão considerava-se 5 tipos em 1986. Hoje são considerados apenas 3.

Os defeitos encontrados no feijão passaram ser classificados como graves ou leves e, dependendo de como é classificado, não pode ser comercializado;

Se a porcentagem de insetos mortos for superior a 0,60% o feijão é desclassificado.

Com os pontos acima abordados verifica-se que o grau de qualidade da classificação se tornou maior e mais difícil de ser obtido, principalmente quando o processo é feito manualmente. Erros podem ser ocasionados se não forem observados alguns pontos como:

- Pesagem correta das amostras;
- A coleta para a amostragem deve ser feita em pontos diferentes, pois se forem pegas num mesmo ponto não garantirá uma qualidade de todo o lote ou saca, uma vez que pode haver uma concentração de sementes ruins exatamente naquele ponto.

Durante a elaboração deste trabalho não foi encontrada nenhuma legislação internacional que aborde especificamente a classificação de grãos de feijão para um comparativo de normas.

Contudo, observa-se que o processo de classificação do feijão precisa ser melhorado para acompanhar a demanda e garantir a produtividade desta cultura tão importante para o povo brasileiro e também para a sua economia.

Uma alternativa, explorada neste trabalho, é o desenvolvimento de um sistema de inspeção visual automático, usando câmera acoplada a um sistema de informação, para a captura de imagens e análise da qualidade das sementes, semelhante aos sistemas propostos nos trabalhos de (KILIÇ et al., 2007; MENDOZA et al., 2010; MACHADO, 2009; TAMBUR et al., 2007; ROSENBERGER et al., 2004). Tal sistema ao ser acoplado a uma esteira poderá contribuir o controle de defeitos encontrados no feijão brasileiro, principalmente no que tange a mistura de classes durante a cadeia produtiva para ensacamento, garantindo assim, uma melhor e eficiente qualidade do produto.

2.3 Técnicas de Visão computacional

Visão computacional pode ser definida como uma subárea do processamento de imagens que estuda o desenvolvimento de métodos e técnicas que possibilitam dotar uma máquina com algumas capacidades do sistema visual humano como a habilidade para descrever uma cena contida em uma imagem digital (CONCI; AZEVEDO & LETA, (2008).

Os sistemas de visão computacional (SVC) são amplamente utilizados no controle de qualidade visual, visão de robôs, sistemas de segurança, veículos autônomos, reconhecimento biométrico de padrões, agricultura e outros.

Não obstante, um sistema de visão computacional eficiente deve ser capaz de extrair um conjunto de atributos que descreva com precisão uma cena e seja pequeno o suficiente para reduzir o tempo de processamento e viabilizar a construção de aplicações em tempo real como sistemas de inspeção visual automática, sistemas de visão para robôs industriais e veículos autônomos, detecção de eventos em sistemas de vigilância e reconhecimento de padrões biométricos, entre outros (ARAUJO, 2009).

2.3.1 Representação de imagens digitais

Do ponto de vista matemático, uma imagem pode ser definida como uma função bidimensional $f(x, y)$, com $x, y \in \mathbb{R}^2$, na qual x e y são as coordenadas espaciais que identificam um ponto e o valor f em qualquer ponto (x, y) denota a intensidade do nível de cinza da imagem naquele ponto. Uma imagem digital é uma imagem $f(x, y)$ discretizada tanto em coordenadas espaciais quanto na intensidade dos níveis de cinzas. Assim, uma imagem digital pode ser representada através de uma matriz, na qual os índices de linhas e de colunas denotam um elemento da imagem (pixel) e o valor do elemento denota o nível de cinza (PRATT, 1991; GONZALEZ & WOODS, 2002; CONCI; AZEVEDO & LETA, 2008).

Em imagens binárias os valores dos pixels podem assumir os valores 0 ou 1. Para imagens em níveis de cinzas normalmente os valores dos pixels variam de 0 a 255 e, no caso de imagens coloridas, cada pixel é representado por um conjunto de três ou quatro valores, dependendo do sistema de cores empregado. No sistema de cores RGB, por exemplo, uma imagem colorida pode ser vista como um conjunto de três imagens em níveis de cinza independentes, cada uma delas representando uma das componentes de cor (vermelho, verde e azul) (ARAUJO, 2009).

2.3.2 Limiarização

Limiarização (Equação 3) é uma importante abordagem para segmentação de imagens. O processo consiste em agrupar, utilizando um limiar L , os pixels dos objetos e os pixels que compõem o fundo da imagem em duas classes distintas. Assim, dada uma imagem com vários

níveis de cinzas, o resultado da limiarização normalmente é uma imagem binária na qual os pixels com valor 1 (branco) representam os objetos e os pixels com valor 0 (preto) representam o fundo ou vice-versa (GONZALEZ & WOODS, 2000). Um dos métodos mais utilizados para limiarização bimodal é o algoritmo de Otsu (OTSU, 1979), o qual permite estabelecer, de forma automática, um limiar L com base no histograma da imagem.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{se } f(x, y) > L \\ 0, & \text{se } f(x, y) \leq L \end{cases} \quad (3)$$

Onde: g é a imagem binária de saída e f é a imagem de entrada em níveis de cinzas.

Na limiarização multinível utiliza-se dois ou mais limiares (L_1, L_2, \dots, L_n) com o intuito de agrupar os pixels da imagem em três ou mais classes (C_1, C_2, \dots, C_n) conforme a necessidade. A grande dificuldade em processos de limiarização é estabelecer automaticamente os limiares que isolem as regiões de forma adequada para uma determinada aplicação (GONZALEZ & WOODS, 2000; LIAO; CHEN & CHUNG; 2001). Essa dificuldade aumenta proporcionalmente ao número de classes de pixels. Assim, diversos autores têm proposto métodos de limiarização multinível cujo objetivo é determinar os limiares para discriminar os pixels de uma imagem em várias classes. Alguns desses métodos são baseados no algoritmo de Otsu e recebem o nome de limiarização multinível de Otsu. Este é o caso do algoritmo proposto por LIAO, CHEN & CHUNG (2001), utilizado neste trabalho.

2.3.3 Componentes conexos

O conceito de conectividade entre pixels é amplamente explorado na determinação de bordas de objetos e caracterização de regiões em uma imagem. Para determinar se dois pixels p e q estão conectados, verifica-se se eles têm alguma relação de adjacência e se seus níveis de cinza obedecem algum critério de similaridade (PRATT, 1991; GONZALEZ & WOODS, 2000).

As duas formas mais comuns de definir conectividade entre pixels são: conectividade-de-4 e conectividade-de-8 (Figura 05). Na conectividade-de-4 consideram-se os quatro vizinhos horizontais e verticais do pixel. Por exemplo, supondo um pixel na posição (x, y) seus vizinhos horizontais e verticais são os pixels de coordenadas $(x+1, y)$, $(x-1, y)$, $(x, y+1)$ e $(x, y-1)$. Já na conectividade-de-8, consideram-se também os quatro vizinhos diagonais, ou seja, aqueles localizados nas posições $(x+1,$

$y+1$), $(x+1, y-1)$, $(x-1, y+1)$ e $(x-1, y-1)$. Quanto ao critério de similaridade, normalmente é observado se pixels conectados-de-4 ou conectados-de-8 possuem o mesmo nível de cinza.



Figura 05 - Vizinhança de pixels. (a) conectividade-de-4, (a) conectividade-de-8.

Fonte: GONZALEZ & WOODS(2000)

Um conjunto de pixels que estão conectados-de-4 ou conectados-de-8 entre si, em outras palavras um CC, define um objeto na imagem e que compartilham das mesmas propriedades (por exemplo, mesmo nível de cinza) é denominado componente conexo (GONZALEZ & WOODS, 2000).

2.3.4 Operadores morfológicos

A morfologia matemática baseia-se na teoria dos conjuntos e em operações lógicas para extrair características geométricas e topológicas de uma imagem por meio da utilização de padrões de formatos pré-definidos denominados elementos estruturantes (ARAUJO, 2009). As operações elementares da morfologia matemática são a dilatação e a erosão (equações 4 e 5), a partir das quais se derivam as operações de abertura e fechamento (equações 6 e 7).

$$A \oplus B = \{x \mid x = a + b, a \in A, b \in B\} \quad (4)$$

$$A \ominus B = \{x \mid x + b \in A, \forall b \in B\} \quad (5)$$

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (6)$$

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (7)$$

Onde: A é a imagem que está sendo operada e B é elemento estruturante.

A operação de erosão provoca a diminuição do tamanho de um objeto na imagem sem

que suas características geométricas sejam alteradas enquanto a operação de dilatação aumenta o tamanho do objeto. A abertura é equivalente à aplicação da erosão de A por B seguida da dilatação do resultado por B , sendo usada principalmente para romper istmos estreitos, e eliminar protusões finas. Já a operação de fechamento equivale à aplicação da dilatação A por B seguida da erosão do resultado por B e é empregada para fundir as quebras em golfos finos, eliminar pequenos buracos e preencher fendas em um contorno. Neste trabalho utilizou-se a operação de abertura com o objetivo promover a separação dos grãos de feijão na imagem limiarizada.

2.3.5 Homogeneidade na iluminação para melhoria da qualidade das imagens

A iluminação é de extrema importância para análise de imagens e tem como principal função permitir que uma pessoa ou um (SVC) tenha as condições de enxergar as características dos elementos como forma, tamanho e cor. Já que o que se vê é a luz refletida, e não a emitida, o brilho informa a posição e as características de um determinado objeto dentro do campo visual (LEÃO, 2007). Apesar disso, as características da luz emitida influenciam na interpretação fiel que se tem do objeto observado e de seu aspecto natural.

Para aquisição de imagens, faz-se necessário possuir um bom equipamento que proporcione uma melhor qualidade, porém os recursos que muitas câmeras digitais proporcionam nem sempre atendem às necessidades acadêmicas e científicas, já que não foram fabricadas para serem utilizadas para estes fins.

Uma das técnicas de iluminação utilizadas em estúdios fotográficos para aquisição de imagens sem reflexos no objeto é a *Light Box* que é uma caixa feita para criar iluminação indireta em objetos pequenos, tais como: garrafas, celulares, jóias e bijuterias, tornando mais barato do que adquirir uma câmera profissional. Esta técnica consiste em uma caixa forrada com papel ou tecido branco para que a iluminação seja uniforme e não crie reflexos nos objetos quando se faz a aquisição de imagens.

2.4 Esteiras transportadoras de produtos

Uma esteira transportadora consiste em duas ou mais polias que movimentam uma superfície em que determinados materiais ou objetos são transportados. Elas exercem a função de transportar o material por longas distâncias até o seu local de processamento,

armazenamento ou distribuição. Esteiras transportadoras são muito usadas no transporte de sacarias e também na área da construção podendo-se transportar os materiais (areia, brita, cimento) até o local da construção ou matéria-prima do início até final do processamento (FEAGRI, 2011; IME, 2011). As esteiras são usadas desde a antiguidade, no transporte de minérios e atualmente no transporte de pessoas em lojas de departamentos, supermercados e em terminais de transporte de pessoas (viários, hidroviários e aeroviários) (SCHINDLER, 2011).

Diversos acessórios podem ser adicionados à esteira de forma a adaptá-la aos sistemas nos quais elas serão utilizadas. A Figura 06 mostra uma esteira transportadora usada para a seleção de grãos, na qual se acoplou um sistema de inspeção visual, com câmera de vídeo para a avaliação da qualidade das sementes. A lona da esteira propriamente dita (51), seus eixos (54), suas polias (53), com a correia acoplada (não visualizada) e as engrenagens (40). O aparelho inclui uma estrutura que suporta os componentes do sistema de manuseio dos grãos (12), o sistema de iluminação (13) e o sistema de sensores de luz (14). Os controles eletrônicos, fontes de alimentação, *drivers* e outros componentes são montados no quadro (11). A unidade de processamento de sinal (17) foi montada no suporte (11) e se comunica com os componentes da estrutura por meio de cabos (SATAKE et al., 1997).

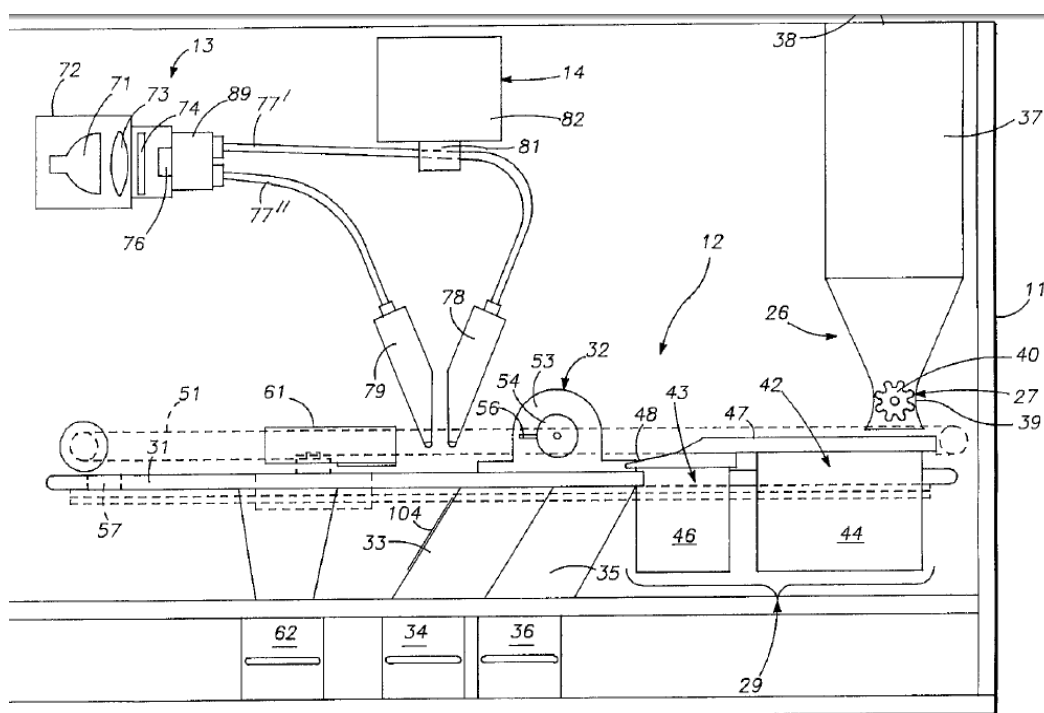


Figura 06 - Esteira transportadora usada na seleção de grãos por inspeção visual.

Fonte SATAKE et al.(1997)

É importante a distribuição dos equipamentos, para proporcionar um melhor funcionamento e fluxo dentro da unidade de armazenamento e distribuição. Daí, a importância das esteiras de seleção, na logística de distribuição dos produtos numa empresa. Geralmente os produtos encaixotados ou em sacados chegam através das esteiras e são armazenados sobre pallets, até o seu carregamento em caminhões para a distribuição para os clientes. A transferência das embalagens com o produto pré-classificado se dá através das “palletteiras”, equipamentos acoplados na parte inferior de um “pallet” para transporte desses até o interior do caminhão ou diretamente das esteiras para os caminhões (dependendo do produto e da quantidade transportada) (FEAGRI, 2011).

2.5 Análise de viabilidade econômica de produtos

As novas demandas estruturais e conjunturais pressionaram as empresas industriais a repensarem suas condutas, como forma de obterem um desempenho adequado aos atuais padrões de competitividade (CABRAL, 2004). De acordo com MUNDIM et al. (2002), a força competitiva de uma empresa se relaciona diretamente com sua capacidade de introduzir produtos no mercado, sua atualização tecnológica e com as características de desempenho, custo e distribuição condizente com o atual nível de exigência dos consumidores.

Segundo DURAN e RADAELLI (2000), as empresas estão vivendo atualmente uma concorrência cerrada em termos de qualidade e custo de seus produtos. Assim, é necessário que as mesmas evoluam constantemente para permanecerem no mercado. Para que isso ocorra, é de fundamental importância conhecer bem os custos industriais, de modo a possibilitar um planejamento eficiente e uma correta tomada de decisões.

Um sistema para controle e análise de custos eficiente e confiável é ferramenta indispensável de apoio à decisão gerencial. Os dados que podem ser obtidos por meio desta importante ferramenta gerencial são informações importantes para as atividades de *marketing*, de planejamento e controle da produção (PCP), de compras, de finanças, de projeto de produto, etc. A análise de custos é vista tradicionalmente como o processo de avaliação do impacto financeiro das decisões gerenciais alternativas. Já a gestão estratégica de custos é uma análise de custos vista sob um contexto mais amplo, em que os elementos estratégicos tornam-se mais conscientes, explícitos e formais (SCRAMIM e BATALHA, 1998).

O processo de elaboração do projeto de viabilidade trata de uma montagem de um conjunto ordenado de informações sistematizadas que permitem avaliar as vantagens e desvantagens econômicas da alocação de recursos na produção de bens ou serviços. Assim, o projeto de viabilidade simboliza um recurso técnico, derivado do modelo de simulação dos resultados esperados de um investimento em um determinado empreendimento econômico (RIBEIRO, 2000).

A decisão de investir não deve ser tomada de maneira repentina, ela deve ser a etapa final de uma série de estudos, ao longo dos quais o projeto de investimento é constantemente colocado em foco. Portanto, o investimento realizado é considerado um projeto de investimento, que ultrapassa com sucesso, diferentes barreiras que se apresentam diante de si (GALESNE et al., 1999). Os investimentos fixos tratam da verificação do montante de recursos necessários para a implantação de toda a infraestrutura física do projeto (aquisição do ponto, máquinas, equipamentos e instalações, móveis e utensílios etc.) (OLIVEIRA NETTO e TAVARES, 2006).

Segundo MARTINS (2003), uma classificação importante para o propósito de custeio dos produtos é aquela que faz a separação dos custos em fixos ou variáveis. Custos fixos (CF) são aqueles que dentro de um intervalo relevante de tempo são constantes em relação às variações no volume de produção, sendo representados pelos custos indiretos de fabricação, (CIF), enquanto custos variáveis (CV) são aqueles que dentro de um intervalo relevante de tempo variam em proporção direta às variações no volume de produção, sendo representados pelos custos de materiais diretos (CMD) e pelos custos de mão de obra direta (CMOD). Despesas são todos os gastos não associados diretamente à produção dos produtos e subdividem-se em despesas administrativas (DA), despesas de vendas (DV) e despesas financeiras (DF). Para se construir um protótipo esteira de baixo custo, leva-se em consideração, os itens já mostrados para análise de custos e compor o preço de venda.

Uma vez que um dos objetivos deste trabalho é fazer o levantamento dos custos da produção de uma esteira transportadora semi-industrial, alguns conceitos teóricos relativos ao tema análise de custos são necessários. Cabe ressaltar que será utilizada a metodologia do ponto de mínimo custo para o cálculo do custo do protótipo proposto.

2.5.1 Análise de custos

Diante da possibilidade de produção da esteira em escala industrial, uma análise de custos tornou-se necessária. Os recursos utilizados são classificados em custos fixos e variáveis, sendo fixos aqueles que não se incorporam totalmente ao produto, mas o fazem em tantos ciclos produtivos quanto permitir sua vida útil (REIS et al., 2001).

O custo variável é todo aquele que varia conforme as unidades produzidas ou com o volume de atividade desenvolvido pela empresa. Eles são fixos pela unidade de produção, e variáveis de acordo com a produção, ou seja, quando ela aumenta, produz um aumento proporcional nos custos variáveis unitários (LEONE, 2001). De acordo com REIS et al. (2001) os custos variáveis têm duração igual ou inferior ao curto prazo e incorporam-se ao produto, necessitando serem repostos a cada ciclo do processo produtivo. Segundo BRAGA (1995) são os custos cujo valor total aumenta ou diminui direta e proporcionalmente com as flutuações ocorridas na produção e vendas.

A relação entre custo total e produção tem por base os fundamentos teóricos ligados à tecnologia, aos preços dos insumos e à busca da eficiência na alocação dos recursos produtivos. O custo total de produção constitui-se na soma de todos os pagamentos efetuados pelo uso dos recursos e serviços, incluindo o custo alternativo do emprego dos fatores produtivos. Dos custos totais, que constituem a soma dos fixos e variáveis, se obtêm os custos médios ou unitários, que representam o custo de uma unidade do produto (REIS et al., 2001).

A avaliação dos custos da extração de gelatina de tarsos de frango está fundamentada na operacionalização dos recursos econômicos que compõem os custos fixos e variáveis. Na estimativa dos custos fixos foram analisados os recursos que fazem parte do processo produtivo de extração de gelatina como: depreciação e manutenção de equipamentos, honorários de contador, pessoal com encargos do escritório e limpeza, energia elétrica, água, telefone e despesas administrativas.

Quanto aos custos variáveis, consideraram-se as despesas com matéria-prima e insumos utilizados na produção, mão de obra com encargos, energia elétrica, óleo diesel para a caldeira, água utilizada na produção e demais despesas gerais.

Para se identificar o preço de venda deve-se levar em consideração o custo do produto, custo de comercialização, margem de lucro desejado e o lucro operacional, este último por sua vez, é a diferença entre a receita operacional (que é o faturamento total da empresa) e o

seu custo total (custos fixos, pagamento de pessoal, matéria-prima etc.), antes do pagamento da Contribuição Social Sobre o Lucro (OLIVEIRA NETTO e TAVARES, 2006). Para o cálculo do preço de venda utilizou-se a fórmula descrita por INDI (2011):

$$PV = \frac{\text{custo unitário do produto}}{1 - (\text{fração da margem de lucro} + \text{fração dos impostos} + \text{fração do empréstimo})} \quad (7)$$

Para o cálculo do financiamento do projeto, realizou-se um levantamento de informações junto ao BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento) e utilizou-se a fórmula cuja letra j representa a taxa de juros e a letra t representa o tempo total do financiamento (BNDES, 2011).

$$P = \frac{\text{Valor do empréstimo total} * \text{Juros}}{(1 - (1 + j)^{-t})} \quad (8)$$

CAPÍTULO III

Neste capítulo apresentam-se os materiais e as técnicas utilizadas na confecção do protótipo da esteira de baixo custo e do sistema de visão computacional (SVC), propostos neste trabalho, bem como a metodologia adotada para condução dos experimentos.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO PROPOSTO

3.1 Materiais utilizados pra confecção do protótipo

Os materiais utilizados para confeccionar a parte mecânica, elétrica e o controle da esteira foram pensados e analisados como uma forma de reutilizar materiais que são descartados pelo setor de construção civil e autopeças ou ainda peças de baixo custo adquiridas no comércio popular.

As partes que compõem a esteira estão ilustradas no desenho esquemático da Figura 07. São eles: 1- base da esteira; 2 – motor elétrico de passo; 3 – mesa da esteira; 4 – roletes que sustentam e movimentam a cinta transportadora (feita de lona); 5- mancais de apoio e fixação da mesa; 6 – lona; 7 – caixa separadora de grãos; 8 – câmara (caixa para controle da iluminação durante a aquisição de imagens); 9 – caixa com a lâmpada fluorescente circular (tampa da câmara); 10 – lâmpadas dicróicas fixadas em cada lado da câmara; 11 – câmera para aquisição de imagens.

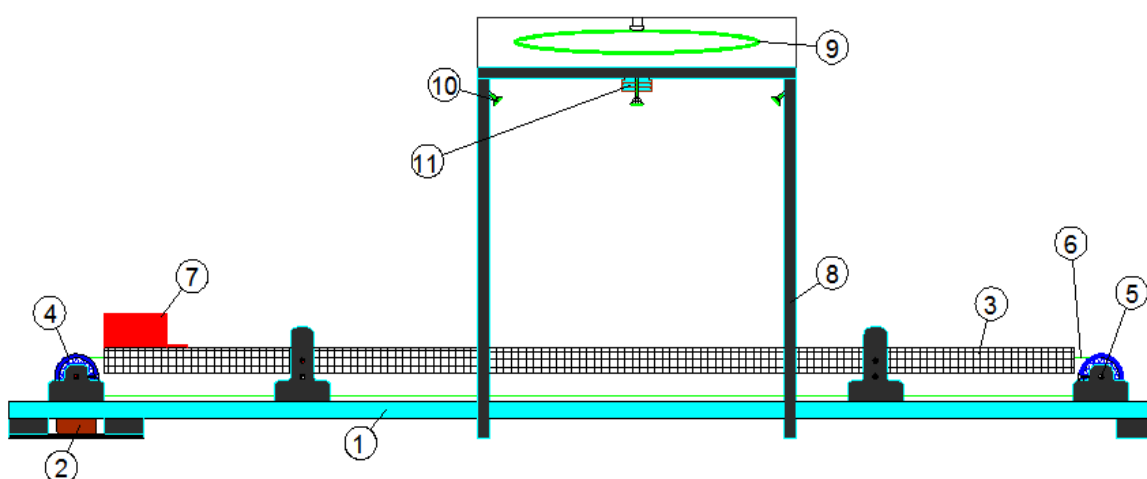


Figura 07 - Desenho esquemático da esteira.

Fonte: o autor

3.2 Montagem da esteira

3.2.1 Preparação da mesa (base da esteira)

Para compor a base da esteira foi utilizado um sarrafo de madeira de construção civil com as seguintes especificações, em metros, de 6 x 0,02 x 0,05, a partir do qual foram derivadas quatro peças, sendo duas de 1,5m e duas de 0,4m. Além disso, oito mancais foram confeccionados utilizando-se o material restante do sarrafo. Em cada mancal foi feito um furo passante para fixação dos eixos Figura 8 (a), que servem de apoio aos rolamentos Figura 8 (b).

Para movimentação da cinta da esteira (placa da lona), dois rolos de impressora Lexmark® modelo 323(Figura 09a) foram adquiridos no comércio local. Os eixos foram cortados com a dimensão de 45cm para colocação de porcas borboletas que os fixam nos mancais. Utilizaram-se pregos e parafusos para montar a base da esteira num formato retangular e na parte inferior direita da base fixou-se motor de passo com torque de 1,3Kgf/cm, Figura 09 (b). Uma placa de MDF foi cortada com as especificações em metros de 1,15 x 0,38 x 0,015 e nas suas extremidades foram acoplados dois trilhos de cortina (Figura 10) com especificações em metros de 1,15 x 0,005 x 0,004 e com um vão de 0,016m para apoio da placa e da lona.

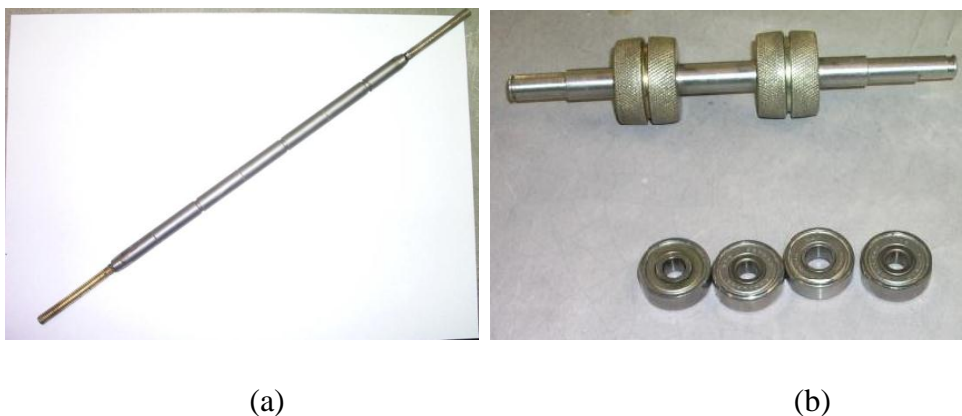


Figura 08 - Eixos e rolamentos utilizados na esteira.

Fonte: o autor



Figura 09 - Rolo de impressora inutilizada e motor de passo.

Fonte: o autor



Figura 10 - Trilho de cortina para apoio da placa de MDF e da placa de lona (cinta da esteira).

Fonte: o autor

3.2.2 Caixa separadora de grãos

Na confecção da caixa separadora de grãos utilizou-se uma chapa de MDF de 3/8” nas medidas de 25 x 18 x 10cm com fundo oco para adaptar-se na esteira. Na parte dianteira da caixa foram colocados duas peças de MDF de 6mm em formato de triângulo formando um “V” ou forma de funil, visto na Figura 11 (a) . Para tampar esta extremidade que forma o “funil”, foi elaborada uma peça de MDF e nela foram pregados pequenos pregos com espaçamento entre si de 1,5cm para “desgrudar” os Feijões e facilitara análise das imagens pelo SVC, como visto na Figura 11 (b).



(a)

(b)

Figura 11 - Parte dianteira da caixa separadora de grãos e a tampa com os pregos.

Fonte: o autor

3.2.3 Suporte para acoplar as lâmpadas e a câmera

Para acoplar a lâmpada circular (Figura 12) e a câmera para aquisição de imagens foi desenvolvido um suporte, feito de madeira, para ficar na parte superior da câmara. Foi utilizado MDF de 6mm com as dimensões, em metros, de 0,40 x 0,50 x 0,10 (largura, comprimento, altura). Neste suporte foi fixada, a lâmpada circular com um soquete e a câmera para aquisição de imagens. Este suporte ilumina uniformemente o ambiente de aquisição de imagens.



Figura 12 - Lâmpada circular fluorescente no suporte confeccionado.

Fonte: o autor

Já na câmara, utilizaram-se compassos para viabilizar a fixação e direcionamento das lâmpadas dicróicas, como mostra a Figura 13 (a,b). As lâmpadas dicróicas inicialmente tinham o propósito de serem usadas em experimentos com imagens obtidas por iluminação

em diferentes ângulos. No entanto, tais experimentos não foram realizados neste trabalho. Desta forma, na aquisição das imagens utilizou-se apenas a iluminação da lâmpada fluorescente.



(a)

(b)

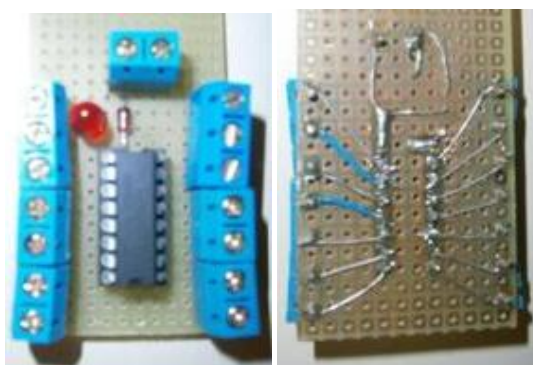
Figura 13 - Compassos e lâmpadas dicróicas fixados em cada lado da câmara, na parte superior.

Fonte: o autor

3.2.4 Montagem do circuito eletrônico de controle

O circuito eletrônico de controle da esteira foi dividido em dois controles, um para controlar o motor de passo para o acionamento da cinta transportadora e o outro para controlar o acendimento das lâmpadas; ambos ligados a porta paralela do PC. Os principais componentes elétricos utilizados para confecção dos circuitos foram: Cabo AVG 7x26, cabo paralelo flexível branco 1,5mm, bornes de ligação, mini bornes KRE2, caixa plástica com dimensões de 9 x 5 x 21cm para acondicionamento do controle das lâmpadas, conector fêmea DB 25, circuito integrado ULM 2003, placa para CI, espaçador de CI, LED 5mm vermelho L-513HD, LED 5mm vermelho l-513HD e relés.

No primeiro circuito eletrônico foi utilizada uma placa de CI universal nas dimensões de 5x6cm, na qual foram soldados sete bornes para entrada da porta paralela, cabos de alimentação de 12V da fonte e saídas do CI. Também foi soldado na placa um suporte para acoplar o CI modelo ULM 2003 e um LED vermelho que acende quando há passagem de corrente elétrica, como ilustrado na Figura 14 (a,b).

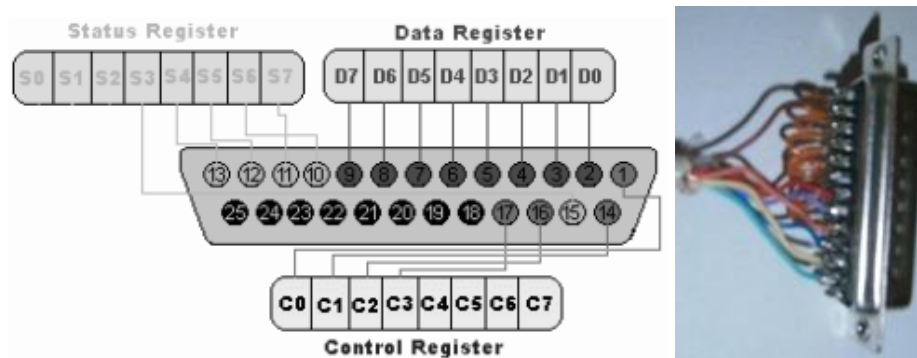


(a) (b)

Figura 14 - Circuito eletrônico para controle do motor de passo. (a) Visão da parte frontal -
(b) Visão da parte traseira.

Fonte: o autor

No conector macho DB25 foram soldados os cabos conforme indicado em MESSIAS (2006) para comunicação circuito eletrônico para controle do motor de passo com a o PC através da porta paralela. O esquema de ligação dos cabos é ilustrado na Figura 15 (a,b).



(a) (b)

Figura 15 - Esquema de soldagem dos pinos do conector macho DB 25. (a) Esquema de soldagem indicado em MESSIAS (2006)- (b) Conector pronto.

Fonte: MESSIAS(2006)

No segundo circuito eletrônico foram soldados doze bornes, cinco relés de 12V na bobina e que suportam cargas de até 220Ve o suporte para o CI modelo ULN 2003 (Figura

16). Para conferir a passagem de corrente nas ligações e se os circuitos não estavam em curto foi utilizado um Multímetro digital.

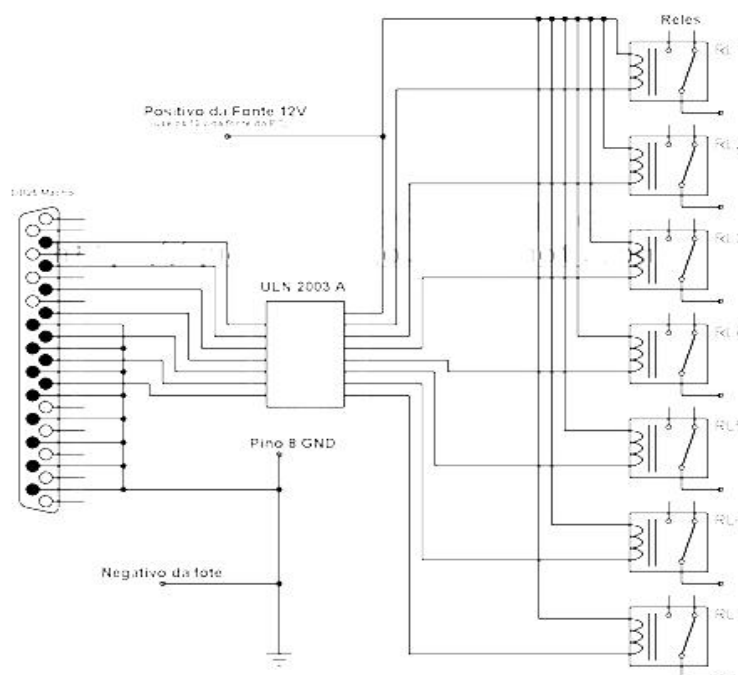
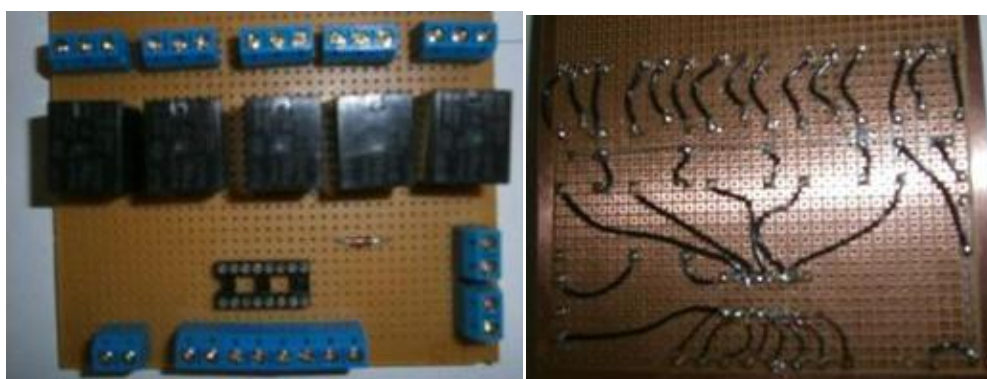


Figura 16 - Esquema elétrico do circuito de acionamento das lâmpadas.

Fonte: MESSIAS (2006)

Fios de 1,5mm de diâmetro foram utilizados para soldar o circuito eletrônico composto com os relês, o CI ULN2003 e a fonte de 12 V, vistos na Figura 17 (a,b).



(a)

(b)

Figura 17- Circuito eletrônico para acionamento das lâmpadas.(a) Visão da parte frontal - (b) Visão da parte traseira.

Fonte: Autor.

3.2.5 Fixação dos dispositivos de controle

Feitas as construções dos circuitos eletrônicos, por questões de segurança, colocou-se o segundo deles, que controla as lâmpadas, em uma caixa preta de plástico, própria para adaptar circuitos eletrônicos nas dimensões, em cm, de 9 x 5 x 21, como visto na Figura 18.



Figura 18 - Circuito eletrônico para controle das lâmpadas fixados na caixa de proteção

Fonte: o autor

Tanto o circuito eletrônico que controla a velocidade da esteira quanto o que controla o funcionamento das lâmpadas através da porta paralela do PC, vistos na Figura 19 (a,b), foram instalados na parte inferior do protótipo por questões de estética e segurança, assim como o motor de passo, visto na Figura 20.



(a)

(b)

Figura 19 - Circuito eletrônico para controle do motor de passo fixado na parte inferior da esteira.

Fonte: o autor



Figura 20 - Esquema de fixação do Motor de passo.

Fonte: o autor

3.3 Sistema de visão

O algoritmo proposto neste trabalho, o qual é apresentado no fluxograma do Anexo C, foi implementado em linguagem C/C++, utilizando os compiladores DevC++ e as bibliotecas para Processamento de Imagens e Visão Computacional Proeikon (KIM, 2006) e OpenCV (INTEL, 2000).

A escolha pela linguagem C foi motivada, principalmente, pela possibilidade de se obter programas com tempos de execução menores e também pela facilidade de integração do SVC proposto com o controle da esteira (integração com o hardware). Além disso, esta linguagem é uma das mais utilizadas em aplicações de automação, pois possui funções que facilitam a comunicação com o hardware.

Para a aquisição de imagens digitais das amostras de feijão foi utilizada uma câmera digital Web Cam modelo LifeCAM da Microsoft®.

3.4 Esquema de funcionamento do protótipo

Conforme ilustrado na Figura 21, as amostras de feijão passam pela câmara, onde são adquiridas as imagens digitais que são analisadas pelo SVC, o qual computa as quantidades de sementes de cada classe/subclasse, em cada amostra. Vale ressaltar que a velocidade da esteira é determinada de acordo com a velocidade de processamento das amostras.

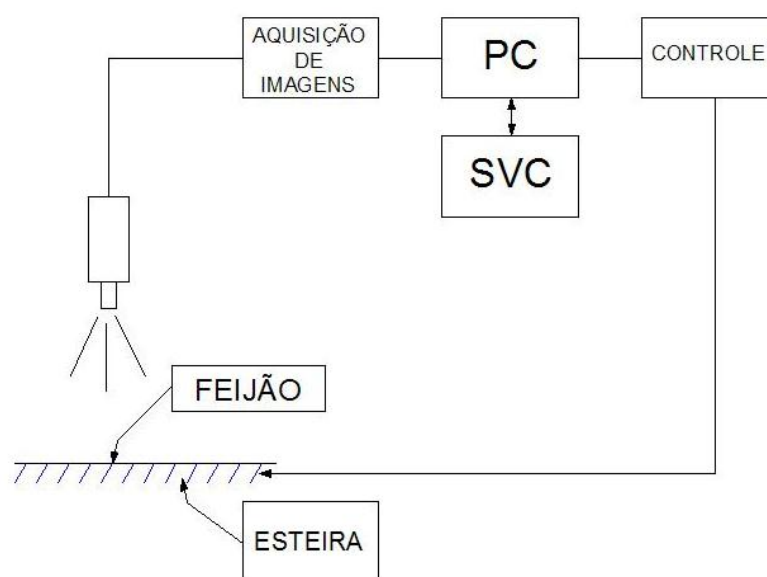


Figura 21 - Esquema de funcionamento do protótipo da esteira.

Fonte: o autor

3.4.2 Passos para funcionamento do SVC e controle

No funcionamento do SVC e do controle da esteira (ilustrado no fluxograma da Figura 22) os seguintes passos são executados:

- A amostra de feijões é colocada na caixa separadora de grãos;
- A esteira transporta a amostra de feijão até entrada da câmara de aquisição de imagens;
- O SVC faz aquisição e processa a imagem da amostra;
- O SVC faz análise e contagem dos grãos.
- Se o comando de parada do sistema for acionado, a esteira é desligada. Caso contrário, inicia-se um novo ciclo com outra amostra de feijões.

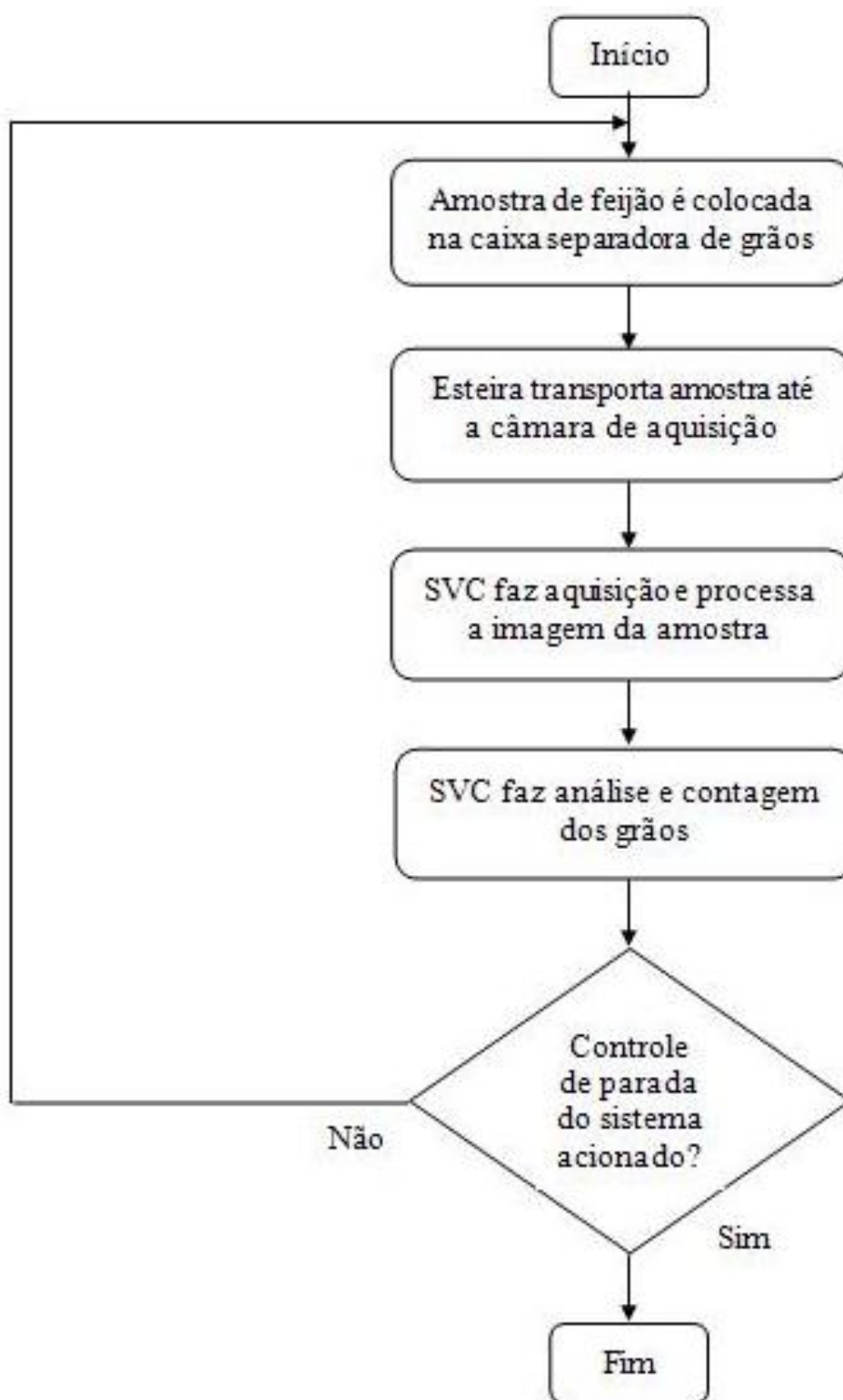


Figura 22 - Fluxograma de atividades do SVC e controle da esteira.

3.5 Metodologia para condução dos experimentos

Para os experimentos descritos neste trabalho foram adquiridas 100 imagens de amostras de feijão variando os percentuais das classes/subclasse preto, mulato e carioca em cada amostra, composta por 100 grãos no total.

As 100 imagens foram divididas em 10 subconjuntos, cada um contendo 10 imagens com as mesmas quantidades de grãos pretos, mulatos e cariocas, apenas variando suas posições.

O procedimento de aquisição das imagens digitais foi realizado com a utilização da câmera com as especificações anteriormente descritas, sob as mesmas condições de iluminação (lâmpadas fluorescentes) e distância focal (aproximadamente 40 cm das mostras de feijão), observadas em (ANAMI & SAVAKAR, 2010).

Nos experimentos realizados, o objetivo do SVC desenvolvido foi detectar grãos de feijão não pertencentes à subclasse carioca, em cada amostra. Em resumo, para cada imagem analisada, o algoritmo deveria indicar a quantidade de sementes de feijões pretos e mulatos de forma a viabilizar o cálculo do percentual da mistura e, conseqüentemente, determinar se a amostra estava aprovada ou rejeitada.

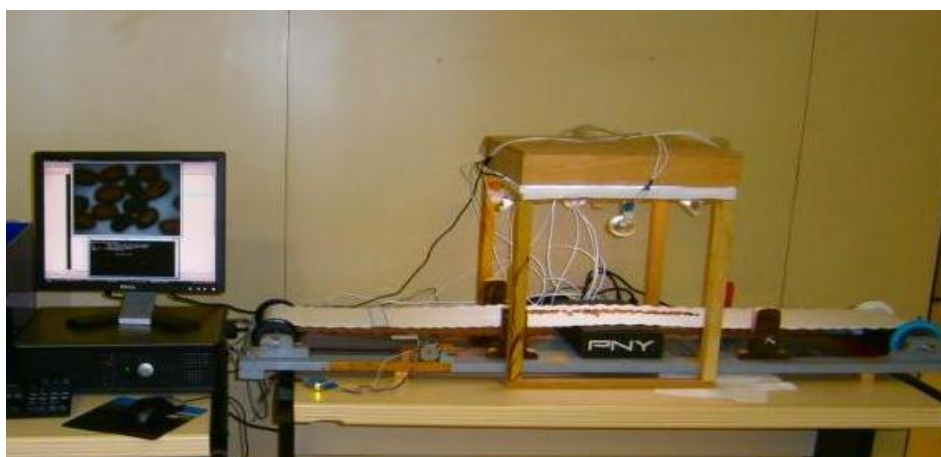
CAPÍTULO IV

Neste capítulo são apresentados os resultados experimentais obtidos com o uso do protótipo da esteira e do sistema de visão computacional propostos, além dos custos envolvidos na construção do protótipo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 O protótipo proposto

A esteira completa, ilustrada na Figura 23 (a, b, c), inclui uma ligação entre o motor de passo e o PC, permitindo que a direção e a velocidade da cinta transportadora sejam controladas pelos programas de controle. A velocidade da esteira é definida com base no tempo gasto para o SVC analisar uma amostra de feijões.



(a)



(b)



(c)

Figura 23 - Protótipo da esteira transportadora conectada ao PC. (a) Vista frontal (b) Vista lateral. (c) Amostra de feijão na cinta transportadora.

Fonte: o autor

Algumas peças confeccionadas e partes que compõem a esteira são:

- a) Oito mancais como o ilustrado na Figura 24;
- b) Base da esteira com os dois rolos de impressora matricial fora de uso, ilustrada Figura 25;
- c) Roletes de plástico para apoiar a cinta de transporte na base da esteira, Figura 26;
- d) Base da esteira completa com roletes, rolos de impressora e roletes de plástico, vista na Figura 27;
- e) Câmara para aquisição de imagens (Figura 28) com 40 cm de altura por 50 cm de largura e 50 cm de comprimento, com furo para acoplamento da câmera digital. Esta câmara é forrada por todos os lados com papel sulfite branco para evitar efeitos de iluminação durante o processo de aquisição de imagens das amostras de feijão. Ela lembra muito um negatoscópio, aparelho utilizado por médicos e dentistas para verificar o raio-X;
- f) Suporte das lâmpadas e da câmera de aquisição de imagens, visto na Figura 29 (a,b);
- g) Caixa separadora de grãos, onde os feijões são colocados e previamente separados, ilustrada na Figura 30;
- h) Interface do PC com o SVC, mostrada na Figura 31.



Figura 24 - Mancal confeccionado para fixação dos eixos.

Fonte: o autor



Figura 25 - Base da esteira com os dois rolos de impressora.

Fonte: o autor



Figura 26 - Roletes que apóiam a cinta de transporte na base da esteira.

Fonte: o autor



Figura 27 - Base da esteira completa.

Fonte: o autor



(a)

(b)

Figura 28 - Câmara para aquisição de imagens. (a) Estrutura confeccionada em MDF - (b) Estrutura forrada com papel branco.

Fonte: o autor



(a)

(b)

Figura 29 - Suporte das lâmpadas de iluminação. (a) Vista frontal do suporte. (b) Detalhe da lâmpada fixada ao suporte

Fonte: o autor



Figura 30 - Caixa separadora de grãos de feijão.

Fonte: o autor

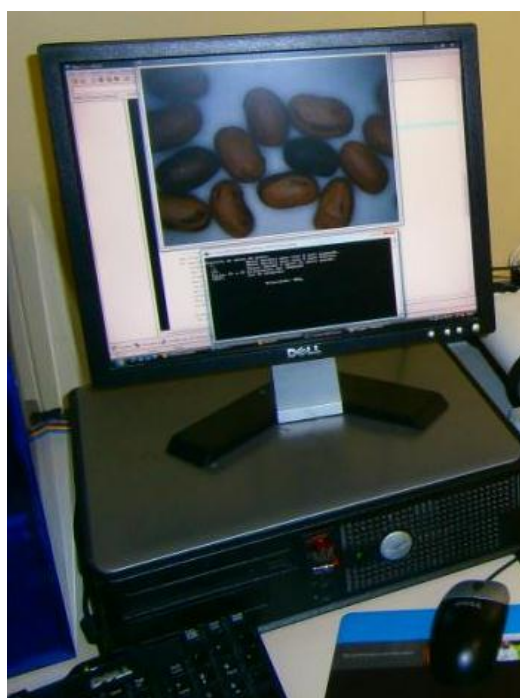


Figura 31 - Interface do SVC.

Fonte: o autor

4.2 Resultados com o SVC

Para condução dos experimentos foram utilizadas 100 imagens. Como já mencionado, a tarefa do SVC proposto foi analisar cada imagem adquirida e indicar as quantidades de sementes de feijões pretos e mulatos contidos em uma amostra de feijões cariocas de forma a viabilizar o cálculo do percentual da mistura.

A seguir é mostrado um exemplo de como a imagem é analisada, considerando um único ensaio entre muitos outros que foram realizados neste trabalho. Em cada análise, a entrada do SVC é uma imagem colorida RGB, ilustrada na Figura 32 (a). O primeiro passo é a conversão desta imagem para outra em níveis de cinzas, como mostra a Figura 32 (b), utilizando a Equação 10, que prioriza o R (vermelho) para destacar o marrom dos grãos de feijão durante o processamento das imagens adquiridas.

$$g = \frac{R * 2 + G + B}{4} \quad (10)$$

Na seqüência, aplica-se o algoritmo de limiarização multinível de Otsu na imagem em níveis de cinzas agrupando os pixels em 4 classes (C_1 , C_2 , C_3 , e C_4), como mostrado na Figura 32 (c).

Nos passos seguintes aplica-se a operação de abertura na imagem representada pelos pixels da classe C_1 , Figura 32 (d) e, em seguida, efetua-se a remoção de pequenos componentes conexos, utilizando um limiar para remoção de componentes conexos (L_{cc}), tendo em vista que tais componentes não representam grãos de feijão, mas sombra deles ou mesmo ruídos. Os resultados destas operações são mostrados nas Figuras 32 (e) e 32 (f), respectivamente.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 32 - Etapas intermediárias de processamento do SVC proposto.

Fonte: o autor

Os passos finais do SVC consistem no cálculo dos centros dos componentes conexos e o uso das coordenadas desses centros para contar e assinalar os grãos detectados com um “X” verde (Figura 33).

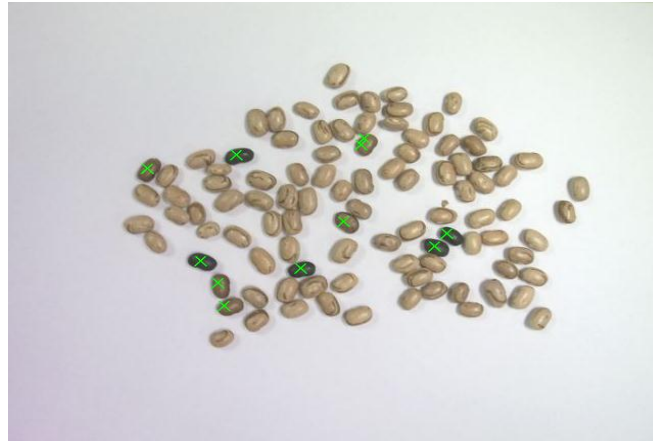


Figura 33 - Resultado do processamento do SVC proposto.

Fonte: o autor

Os resultados dos experimentos realizados com o SVC proposto estão sumarizados nas Tabelas 2, 3, 4 e 5. Em cada tabela são mostrados os resultados obtidos para as 100 imagens considerando um valor para L_{cc} . Foram realizados experimentos com quatro valores diferentes para L_{ccs} (150, 120, 100 e 60).

Cada subconjunto processado é identificado na primeira coluna. Nas colunas seguintes apresentam-se as quantidades de feijões da classe carioca, preto e da subclasse mulato em cada amostra, a quantidade total de grãos a serem detectados considerando as 10 imagens do subconjunto, a quantidade de detecções corretas (VP), a quantidade de grãos detectados incorretamente (FP), a quantidade de grãos que deveriam, mas não foram detectados (FN) e, finalmente, a taxa de acertos e a precisão do SVC. As quantidades de VP, FP, FN, além da taxa de acertos e a precisão foram computadas com base na quantidade de grãos que deveriam ser detectados em cada imagem.

Neste trabalho foram empregadas a taxa de acertos e a precisão (equações 11 e 12) para analisar o desempenho do SVC proposto.

$$\text{Taxa de acertos} = \frac{VP}{VP + FN} * 100 \quad (11)$$

$$\text{Precisão} = \frac{VP}{VP + FP} * 100 \quad (12)$$

Vale ressaltar que para o subconjunto 1, no qual as amostras continham apenas grãos de feijão carioca, considerou-se que taxa de acertos foi 100% com VP=0 tendo em vista que o SVC não deveria detectar grão algum. Para o cálculo da precisão, situação análoga foi considerada, ou seja, quantidade de grãos cariocas na amostra / (quantidade de grãos cariocas na amostra + FP) * 100.

Tabela 2 - Resultados experimentais obtidos pelo SVC considerando $L_{cc} = 150$.

Subconjunto	Quantidade de grãos cariocas em cada amostra	Quantidade de grãos pretos em cada amostra	Quantidade de grãos mulatos em cada amostra	Quantidade total de grãos a serem detectados	VP	FP	FN	Taxa de acertos (%)	Precisão (%)
1	100	0	0	0	0	0	0	100,0	100,0
2	95	0	5	50	46	0	3	92,0	100,0
3	95	5	0	50	50	2	0	100,0	96,2
4	90	5	5	100	80	1	20	80,0	98,8
5	85	5	10	150	121	2	29	80,7	98,4
6	85	10	5	150	121	2	29	80,7	98,4
7	80	10	10	200	138	0	62	69,0	100,0
8	85	0	15	150	126	1	24	84,0	99,2
9	85	15	0	150	147	0	3	98,0	100,0
10	70	15	15	300	223	0	77	74,3	100,0
Total	870	65	65	1300	1052	8	247	80,9	99,2

Como pode ser visto na Tabela 2, a taxa de acertos do SVC foi de 80,9%. Como o número de falsos positivos é baixo, a precisão foi de 99,2%. Contudo, o número de falsos negativos foi muito alto (quase 20% dos grãos pretos e mulatos não foram detectados).

Tabela 3 - Resultados experimentais obtidos pelo SVC considerando $L_{cc} = 120$.

Sub conjunto	Quantidade de grãos cariocas em cada amostra	Quantidade de grãos pretos em cada amostra	Quantidade de grãos mulatos em cada amostra	Quantidade total de grãos a serem detectados	VP	FP	FN	Taxa de acertos (%)	Precisão (%)
1	100	0	0	0	0	1	0	100,0	99,0
2	95	0	5	50	47	1	3	94,0	97,9
3	95	5	0	50	50	1	0	100,0	98,0
4	90	5	5	100	81	2	18	81,0	97,6
5	85	5	10	150	127	5	23	84,7	96,2
6	85	10	5	150	126	1	24	84,0	99,2
7	80	10	10	200	134	1	50	67,0	99,3
8	85	0	15	150	134	4	15	89,3	97,1
9	85	15	0	150	147	0	3	98,0	100,0
10	70	15	15	300	245	2	55	81,7	99,2
Total	870	65	65	1300	1091	18	191	83,9	98,4

Como pode ser visto na Tabela 3, a taxa de acertos do SVC foi de 83,9% e a precisão 98,4%. No entanto o número de falsos negativo ainda foi alto.

Tabela 4 - Resultados experimentais obtidos pelo SVC considerando $L_{cc} = 100$.

Sub conjunto	Quantidade de grãos cariocas em cada amostra	Quantidade de grãos pretos em cada amostra	Quantidade de grãos mulatos em cada amostra	Quantidade total de grãos a serem detectados	VP	FP	FN	Taxa de acertos (%)	Precisão (%)
1	100	0	0	0	0	1	0	100,0	99,0
2	95	0	5	50	47	5	3	94,0	90,4
3	95	5	0	50	50	1	0	100,0	98,0
4	90	5	5	100	87	2	13	87,0	97,8
5	85	5	10	150	129	6	21	86,0	95,6
6	85	10	5	150	127	1	23	84,7	99,2
7	80	10	10	200	160	1	42	80,0	99,4
8	85	0	15	150	140	4	10	93,3	97,2
9	85	15	0	150	148	0	2	98,7	100,0
10	70	15	15	300	254	0	46	84,7	100,0
Total	870	65	65	1300	1142	21	160	87,8	98,2

Nos resultados mostrados na Tabela 4, observa-se um aumento na taxa de acertos do SVC para 87,8%. No entanto, ainda se nota uma grande quantidade de falsos negativos. Além disso, o aumento de falsos positivos fez diminuir a precisão do algoritmo.

Tabela 5 - Resultados experimentais obtidos pelo SVC considerando $L_{cc} = 60$.

Sub conjunto	Quantidade de grãos cariocas em cada amostra	Quantidade de grãos pretos em cada amostra	Quantidade de grãos mulatos em cada amostra	Quantidade total de grãos a serem detectados	VP	FP	FN	Taxa de acertos (%)	Precisão (%)
1	100	0	0	0	0	11	0	100,0	90,1
2	95	0	5	50	48	11	2	96,0	81,4
3	95	5	0	50	50	0	4	100,0	100,0
4	90	5	5	100	93	8	7	93,0	92,1
5	85	5	10	150	129	16	17	86,0	89,0
6	85	10	5	150	134	3	16	89,3	97,8
7	80	10	10	200	171	6	29	85,5	96,6
8	85	0	15	150	143	17	9	95,3	89,4
9	85	15	0	150	147	1	3	98,0	99,3
10	70	15	15	300	277	0	23	92,3	100,0
Total	870	65	65	1300	1192	73	110	91,7	94,2

Os resultados da Tabela 5 mostram que a melhor taxa de acertos (91,7%) pode ser obtida com $L_{cc} = 60$, em comparação com os outros valores adotados para este parâmetro. Contudo observa-se um aumento expressivo na quantidade de falsos positivos fazendo diminuir a precisão do algoritmo para 94,2%.

Os gráficos mostrados nas Figuras 34, 35 e 36 permitem uma análise macro do desempenho do SVC. Eles mostram, respectivamente, a taxa de acertos, a precisão e taxa de acertos versus Precisão para diferentes L_{cc} 's.

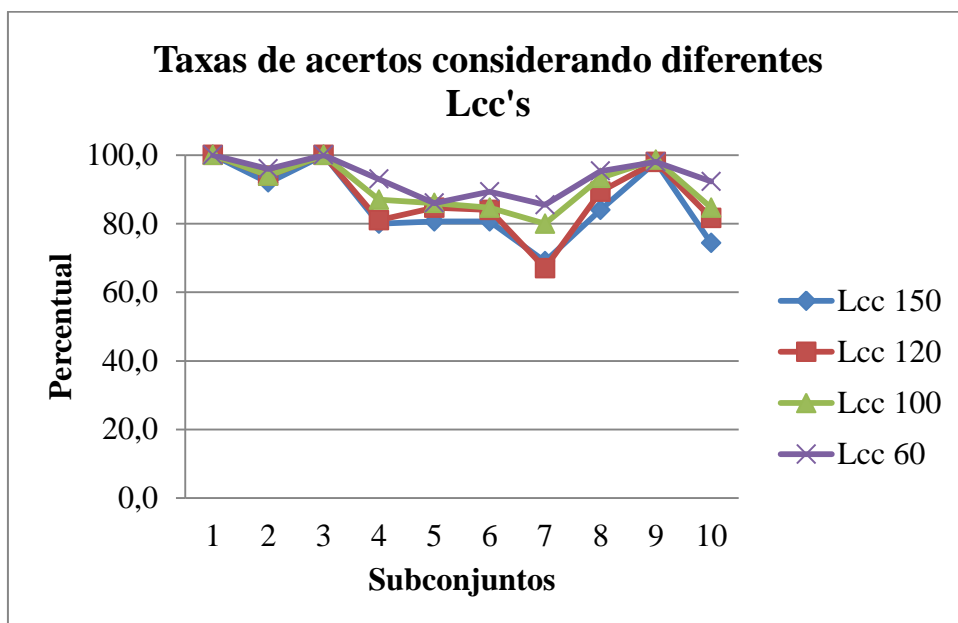


Figura 34 - Taxa de acertos considerando diferentes L_{cc} 's

Observa-se na Figura 34 que a Taxa de acertos ficou, na maioria dos casos, acima de 70% e que há uma certa linearidade entre os 4 L_{cc} 's, sendo 60, o valor que permitiu o melhor desempenho.

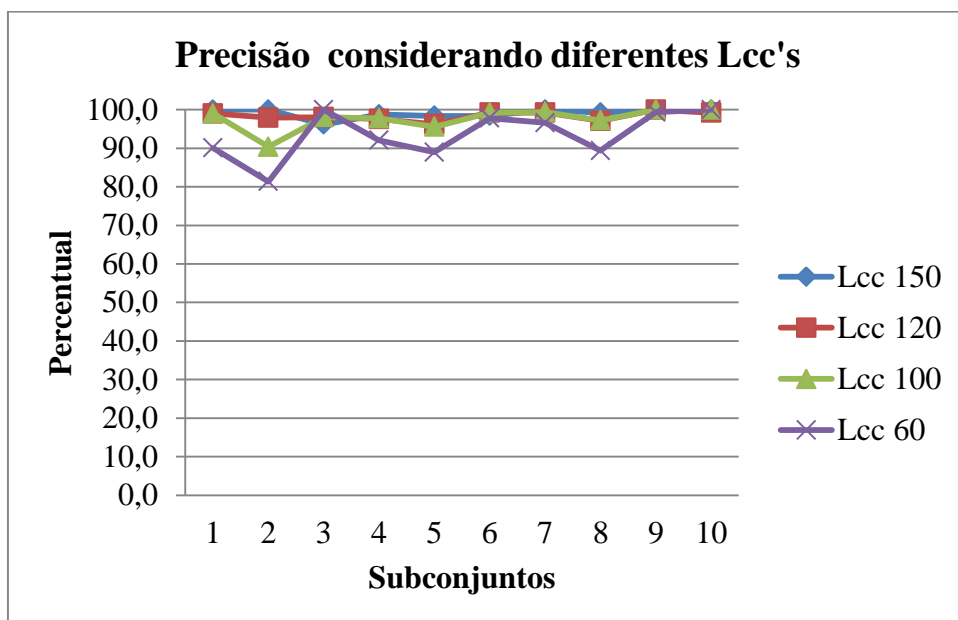


Figura 35 - Precisão considerando diferentes L_{cc} 's.

Observa-se na Figura 35 que a Precisão foi alta para os quatro valores de L_{cc} (acima de 94%) e que o pior resultado foi verificado para o subconjunto 2, considerando $L_{cc} = 60$, onde o SVC detectou 11 falsos positivos de uma amostragem de 50 feijões mulatos.

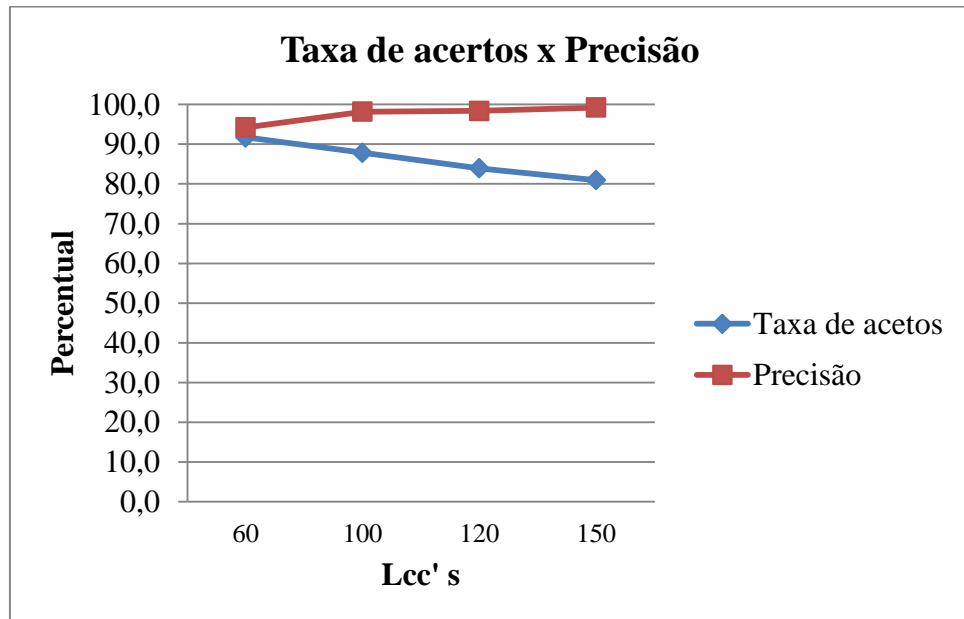


Figura 36 - Taxa de acertos versus a Precisão.

Observa-se na Figura 36 que há o encontro entre a Taxa de acerto e a Precisão sugerindo que adotando o valor 60 para L_{cc} é a melhor alternativa. Contudo ressalta-se que se o valor de L_{cc} for muito alto aumentam-se os FN enquanto valores muito pequenos para este parâmetro faz aumentar os FP. Assim, há de se buscar um equilíbrio neste parâmetro de acordo com cada situação.

Os casos de falsos positivos foram causados, na maioria dos casos, devido às sombras dos grãos ou devido à existência de estrias longitudinais com cor mais escura, em feijões cariocas, fazendo com que o algoritmo interpretasse alguns grãos desta subclasse como mulato, como mostrado na Figura 37 (b).

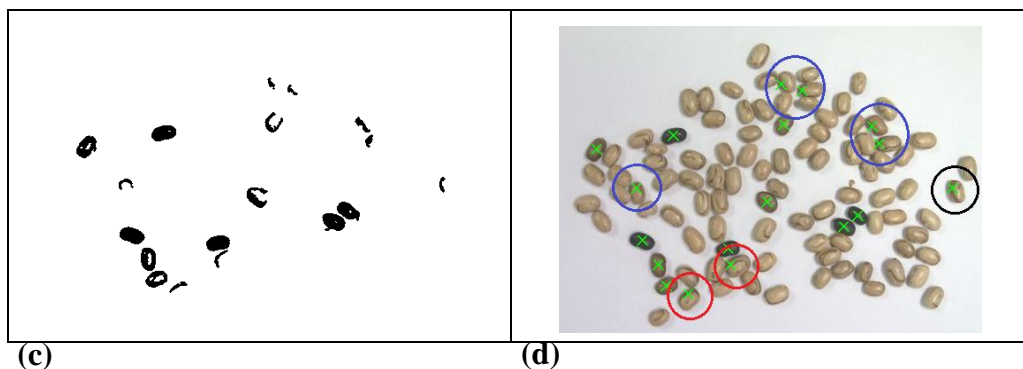




Figura 37 - Resultados do algoritmo contendo casos falsos positivos e falsos negativos. (a) Componentes conexos filtrados. (b) Falsos positivos causados por efeitos de sombra (círculos azuis), estrias escuras (círculos vermelhos) e efeitos de sombra + estrias escuras (círculo preto). (c) Componentes conexos filtrados (d) Falsos positivos (círculos amarelos) e falsos negativos (círculos laranja).

Fonte: o autor

Com relação ao tempo de processamento, usando um microcomputador Pentium4 2.8GHz, o SVC proposto gastou, em média, 1,5 segundos para processar uma imagem de 640x480 pixels.

4.3 Análise do custo de fabricação do protótipo desenvolvido para inspeção automática do feijão

Para a determinação do custo do protótipo de esteira proposto levou-se em consideração os valores descritos na Tabela 6. Foi feita uma pesquisa no comércio paulistano levantando os preços de cada peça que compõe o equipamento.

Para o levantamento dos custos fixos, foi necessário realizar o cálculo individual de cada item, incluindo materiais e mão de obra. Como se nota, a câmera representa 37,3% do custo total da esteira. Sem ela, o preço de venda da esteira cairia para R\$ 420,60. Contudo, seria necessário deixar claro ao consumidor que o mesmo deveria possuir uma câmera para aquisição das imagens.

Tabela 6 - Custos de materiais utilizados na confecção da esteira

Item	Qtd	Unid	Descrição dos Materiais Utilizados	V. Unitário	V. Total
1	30	PÇ	ARRUELA ZINCADA 1/4"	R\$ 0,05	R\$ 1,50
2	2	BR	BARRA ROSCÁVEL 1/4" - 1,00 m.	R\$ 2,60	R\$ 5,20
3	4	PÇ	COMPASSO	R\$ 2,50	R\$ 10,00
4	2	PÇ	LIXA	R\$ 0,40	R\$ 0,80
5	1	PÇ	LONA (3,00 X 0,50 m)	R\$ 15,00	R\$ 15,00
6	1,17	PÇ	MADEIRA TIPO SARRAFO (6.00 X 0.05)m	R\$ 6,88	R\$ 8,04
7	0,0932	PÇ	MADEIRA MDF	R\$ 75,00	R\$ 6,99
8	2	PÇ	MOTOR DE PASSO 1,3Kgf	R\$ 42,00	R\$ 84,00
9	30	PÇ	PARAFUSOS PARA FIXAÇÃO	R\$ 0,10	R\$ 3,00
10	6	PÇ	ROLAMENTOS	R\$ 3,00	R\$ 18,00
11	8	PÇ	PORCA TIPO BORBOLETA 1/4"	R\$ 0,20	R\$ 1,60
12	30	PÇ	PORCA ZINCADA 1/4"	R\$ 0,05	R\$ 1,50
13	2	PÇ	ROLETE DE IMPRESSORA MODELO 323 LEXMARK - TX	R\$ 20,00	R\$ 40,00
14	1	BR	TRILHO deCORTINA (2,00 X 0,40 X 0,28)m	R\$ 34,50	R\$ 34,50
15	12	PÇ	BORNE DE LIGAÇÃO	R\$ 0,40	R\$ 4,80
16	3	M	CABO AVG 7x26	R\$ 2,90	R\$ 8,70
17	20	M	CABO FLEX. PARAL. BRANCO 1,5mm	R\$ 0,45	R\$ 9,00
18	1	PÇ	CX PLASTICA PB 060DE CIRCUITO ELÉTRICO	R\$ 15,75	R\$ 15,75
19	1	PÇ	CAPA D825 C/ KIT CURTO PRETO	R\$ 1,00	R\$ 1,00
20	1	PÇ	CAPA DB25 C/ KIT LONGO	R\$ 1,80	R\$ 1,80
21	4	PÇ	CHAVE KC01- C/ NEON 3T	R\$ 1,80	R\$ 7,20
22	2	PÇ	CIRCUITO INTEGRADO ULM2003	R\$ 1,30	R\$ 2,60
23	1	PÇ	CONECTOR FÊMEA PCT	R\$ 2,70	R\$ 2,70
24	2,05727	kW.h	ENERGIA	R\$ 0,30	R\$ 0,61
25	6	PÇ	ESPAÇADOR DE CI	R\$ 0,30	R\$ 1,80
26	1	PÇ	ESTANHO PARA SOLDA	R\$ 6,50	R\$ 6,50
27	1	PÇ	FERRO DE SOLDA 40W/127V	R\$ 16,80	R\$ 16,80
28	1	PÇ	LÂMPADA CIR. FLUORESC. 32W	R\$ 17,00	R\$ 17,00
29	3	PÇ	LÂMPADA DICRÓICA BIPINO	R\$ 4,50	R\$ 13,50
30	10	PÇ	LED 5MM VERMELHO L-513HD	R\$ 0,40	R\$ 4,00
31	1	PÇ	MACHO SOLDA FIO	R\$ 1,10	R\$ 1,10
32	10	PÇ	MINI BORNE KRE2	R\$ 0,60	R\$ 6,00
33	1	PÇ	MULTIMETRO DIG. GC DT830-B	R\$ 17,00	R\$ 17,00
34	1	PÇ	PINO MACHO PERLEX 2P 10A	R\$ 1,41	R\$ 1,41
35	1	PÇ	PLACA PARA CI	R\$ 18,00	R\$ 18,00
36	1	PÇ	PLAFON PARA LÂMPADA CIRC.	R\$ 3,30	R\$ 3,30
37	7	PÇ	RELÉ 12VDC	R\$ 1,80	R\$ 12,60
38	5	PÇ	SOQUETE P/ LÂMP. DICRÓICA	R\$ 1,46	R\$ 7,30
39	1	PÇ	SUGADOR DE SOLDA	R\$ 10,00	R\$ 10,00
40	1	PÇ	CÂMERA Microsoft	R\$ 250,00	R\$ 250,00
VALOR TOTAL DOS MATERIAIS				R\$ 670,60	

A Tabela 7 apresenta os custos com a mão de obra para a elaboração de uma unidade da esteira. Percebe-se que os custos com os encargos financeiros alcançam os 36% de todos os custos com mão de obra. Assim, uma redução nestas taxas, pelo governo, diminuiria consideravelmente o preço final da esteira.

Tabela 7 - Custos de mão de obra

Item	Qtd	Unid	Descrição	V. Unitário	V. Total
1	0,5	horas	Marceneiro/carpinteiro	R\$ 8,00	R\$ 4,00
2	1	horas	Ajudante marceneiro/carpinteiro	R\$ 6,00	R\$ 6,00
3	1	horas	Eletricista	R\$ 6,00	R\$ 6,00
4	3	horas	Segurança/Porteiro	R\$ 8,52	R\$ 25,56
5	1		Engenheiro/Gerente	R\$ 34,09	R\$ 34,09
6	3		Tec. Administrativo/Vendedor	R\$ 14,20	R\$ 42,60
7	0,36364		Contador	R\$ 34,09	R\$ 12,40
8	1		Secretária	R\$ 6,82	R\$ 6,82
9	1		Auxiliar de Limpeza	R\$ 5,11	R\$ 5,11
10	1	57%	Encargos Financeiros	R\$ 80,56	R\$ 80,56
Custo Total da Mão de Obra				R\$ 223,14	

Baseando-se nas equações 7 e 8 e estimando-se um juros de 6% a.a, chegou-se a um valor de empréstimo de R\$305,32. Verificando-se a Tabela 8, em um projeto industrial para construir um protótipo de esteira de baixo custo, o investimento inicial seria de R\$ 905,82 com recursos próprios e de R\$ 1.211,14 com o BNDES sendo que, o maior investimento seria devido à compra dos materiais. Considerou-se para a concessão de tais investimentos o financiamento pelo BNDES.

Tabela 8 - Composição do Preço Mínimo do Protótipo da Esteira

Item	Qtd	Unid	Descrição	V. Unitário	V. Total
1	1	R\$	Material	R\$ 670,60	R\$ 670,60
2	1	R\$	Mão de Obra	R\$ 223,14	R\$ 223,14
3	1	R\$	Custos Fixos	R\$ 12,08	R\$ 12,08
Preço Mínimo				Custo (R\$)	
4	1	R\$	Com Recursos Próprios		R\$ 905,82
5	1	R\$	Com um Empréstimo BNDES	R\$ 305,32	R\$ 305,32
			Custo/Unidade	R\$ 1.211,14	

Ainda na Tabela 8 é feita a composição do preço final do produto, considerando-se todos os custos, as prestações do financiamento, comissões, impostos e lucro. Através do uso da equação 7 e os valores descritos na Tabela 9, o preço de venda para a produção industrial da esteira ficaria em torno de R\$ 2.100,00.

Tabela 9 - Composição de preços

Item	Qtd	Unid	Descrição dos Itens	V. Unitário	V. Total
1	1	R\$	Lucro (25%)	R\$ 594,98	R\$ 594,98
2	1	R\$	Alíquota Imposto SIMPLES (12,11%)	R\$ 288,21	R\$ 288,21
3	1	R\$	Comissões (5%)	R\$ 119,00	R\$ 119,00
4	1	R\$	Frete (6%)	R\$ 142,79	R\$ 142,79
5	1	R\$	Publicidade (1%)	R\$ 23,80	R\$ 23,80
			Preço (R\$)	R\$ 2.074,6	

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, os procedimentos e as dificuldades para manter os padrões de classificação de feijões requeridos pelo Ministério da Agricultura Brasileiro foram discutidos. Também foi proposto um protótipo de baixo custo com um sistema visão computacional acoplado a ele para auxiliar na melhoria da qualidade do processo de classificação de feijão.

Conclui-se que o processo de classificação do feijão no Brasil é passível de inúmeros erros, principalmente no que tange a separação pela classe. Além disso, observou-se que a amostragem retirada pelo técnico que executa a inspeção de qualidade do produto, não garante o controle de todo o lote, pois pode haver em determinadas porções da saca ou lote, uma concentração de sementes ruins, levando a erros no processo de classificação. Não obstante, verificou-se que a legislação brasileira ficou mais rígida visando garantir uma melhor qualidade do feijão, porém tornou mais difícil o processo de classificação que ainda é feito de forma manual.

Com base na revisão da literatura, conclui-se que o emprego de um sistema de inspeção visual automática para classificação de feijão, acoplado a uma esteira, pode contribuir no processo de inspeção da qualidade visual do produto por meio de imagens digitais. Vale ressaltar que, utilizando um mecanismo semelhante ao proposto neste trabalho, a inspeção das sementes poderia ser feita durante o percurso nas esteiras que as transportam para os silos ou para o ensacamento.

Em relação aos ensaios utilizando o protótipo proposto, os resultados no processo de classificação foram satisfatórios, mesmo considerando as limitações do protótipo.

Com relação ao SVC, a partir dos experimentos realizados neste trabalho conclui-se que a abordagem pode ser empregada para finalidade proposta tendo em vista as altas taxas de acertos obtidas. Contudo, vale ressaltar que efeitos locais de iluminação e sombreamento, além da escolha do elemento estruturante empregado na operação de abertura e da escolha do limiar para filtrar os componentes conexos considerados pequenos (L_{cc}), podem afetar negativamente o seu desempenho.

Finalmente, considerando o custo do protótipo pode-se constatar que os componentes que encarecem o preço final do produto são a câmera e os encargos financeiros. Contudo, se produzido em larga escala poderia ter seu custo reduzido.

5.1 Trabalhos futuros

Com o objetivo de melhorar o protótipo proposto, pretende-se desenvolver as etapas listadas a seguir:

- Finalização do protótipo (instalação das paletas separadoras das amostras e implementação de melhorias na câmara de aquisição de imagens para amenizar os efeitos de iluminação);
- Refinamento do SVC, principalmente no que diz respeito aos seus parâmetros de controle e a incorporação de novas técnicas de processamento de imagens para torná-lo capaz de avaliar outras classes e alguns tipos de defeitos encontrados nos grãos;
- Realização de novos experimentos com um conjunto maior de imagens.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P. F. **Análise da qualidade de gelatina obtida de tarsos de frango e aspectos envolvidos no processo produtivo.**São Paulo, UNINOVE, 2012, 133p. Dissertação (Mestrado) Programa Pós-Graduação em engenharia de Produção, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2012.

ANAMI, B. S. and SAVAKAR, D. G. Influence of Light, Distance and Size on Recognition and Classification of Food Grains' Images. **International Journal of Food Engineering**, v. 6, n. 2, p. 1-21, 2010.

ARAÚJO NETO, B. S. C. **Avaliação do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e (*Vigna unguiculata* L) consumido no Distrito Federal sob aspectos qualitativos da Classificação Vegetal.** Monografia (Especialização em qualidade de alimentos)–Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2004.

ARAÚJO, S. A. **Casamento de padrões em imagens digitais livre de segmentação e invariante sob transformações de similaridade.** Tese (Doutorado em Eng. Elétrica), Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2009.

AZEVEDO, E.; AURA, C. **Computação Gráfica: Teoria e Prática.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

BENVENGA, M. A. C.; SANTANA, J. C. C.; LIBRANTZ, A. F. H.; ARAÚJO, S. A.; TAMBOURGI, E. B. . Aplication of Simulated Annealing in Simulation and Optimization of Drying Process of Zea mays Malt. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 940-954, 2011.

BNDES, Banco Nacional do Desenvolvimento. **Projeto de investimento e capital de giro associado.** Disponível em:<www.bndes.gov.br> Acessado em: 04 jul.2011.

BORGES, P. R. S.; CARVALHO, E. E. N.; VILAS BOAS, E. V. B.; LIMA, J. P. de; RODRIGUES, L. F. Study of the psycho-chemical stability of ‘Pérola’ pineapple juice. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 742-750, 2011.

BRAGA, R. **Fundamentos e técnicas de administração financeira** / Roberto Braga. – São Paulo: Atlas, 1995. 408 p.

CABRAL, S. Analisando a Reconfiguração da Cadeia de Produção de Pneus no Brasil pela Economia dos Custos de Transação. **Gestão & Produção**, v.11, n.3, São Carlos, 2004.

CASTRO, J. O.; VELOSO, A. V.; YANAGI JUNIOR, T.; FASSANI, E. J.; SCHIASSI, L.; CAMPOS, E. T. Estimate of the weight of Japanese quail eggs through *fuzzy* sets theory. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 1, p. 108-116, 2012.

CONAB. **Feijão 1ª, 2ª e 3ª safras.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/detalhe.php?c=18590&t=2#this>. Acessado em: mar, 2011.

CONCI, A.; AZEVEDO, E; LETA, F. R. **Computação Gráfica** - Vol. 2 - Processamento de Imagens Digitais. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

DENARDIN, G. W. **Dicas de porta paralela.** Disponível em: http://pessoal.utfpr.edu.br/gustavo/porta_paralela_pratica_1.pdf. Acessado em: ago, 2012.

EMBRAPA. **Cultivo de feijão-caupi, cultivares.** Disponível em: <http://sistemas.deproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/FeijaoCaupi/cultivares.htm>. Acessado em: mar, 2011.

FEAGRI, faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP. **Beneficiamento de Frutas e Hortaliças.** Disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/unimac/beneficiamento.htm>. Acessado em: ago, 2011.

FUGITA, Y. **Manual do Classificador de Feijão.** Apostila do curso oficial de formação de classificadores de feijão, Seropédica, RJ: Fugita, 1999.

GASLENE, A.; FENSTERSEIFER, J.E.; LAMB, R. **Decisões de investimentos da empresa.** São Paulo: Atlas, 1999.

GONZALEZ, R. C. and WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. Vol.1, São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

IME - Instituto Militar de Engenharia. **Sistema alimentador de forno de padaria**. Disponível em: http://www.ime.eb.br/~aecc/Automacao/Alimentador_de_Forno_de_Padaria.pdf, acessado em ago, 2011

INDI, Instituto de Desenvolvimento Integrado de Minas Gerais. **Perfis Industriais: Geléia e compota de laranja**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.indi.mg.gov.br/perfis_industriais> Acessado em 01 jul. 2011.

IQBAL, F. **Detection of salt affected soil in rice-wheat area using satellite image**. African Journal of Agricultural Research, 6(21):4973-4982, 2011.

INTEL. OpenCV - **Open Source Computer Vision Library**. 2000. Disponível em: <<http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>>. Acessado em 09 out. 2007.

KILIÇ, K.; BOYACI, I. H.; KÖKSEL, H.; KÜSMENOĞLU, I. A Classification system for beans using computer vision system and artificial neural networks, **Journal of Food Engineering**. v. 78, n.3, p. 897-904, 2007.

KIM, H. Y.; ARAÚJO, S. A. Grayscale Template-Matching Invariant to Rotation, Scale, Translation, Brightness and Contrast. **Lecture Notes in Computer Science**, v. 4872, p. 100-113, 2007.

KIM, H. Y. ProEikon - **Rotinas e programas em C++ para processamento de imagens e visão computacional**. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.lps.usp.br/~hae/software>>. Acessado em: fev, 2011.

KIM, H. Y.; ARAÚJO, S. A. Grayscale Template-Matching Invariant to Rotation, Scale, Translation, Brightness and Contrast. **Lecture Notes in Computer Science**, v. 4872, p. 100-113, 2007.

LAURENT, B.; OUSMAN, B.; DZUDIE, T.; CARL, M. F. M.; EMMANUEL, T., Digital camera images processing of hard-to-cook beans, **Journal of Engineering and Technology Research**, v. 2, n. 9, p. 177-188, 2010.

LEÃO, Rafael. **Iluminação dos monumentos arquitetônicos do centro histórico de São Paulo**. 2007. Memorial de Qualificação, Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2007.

LEONE, G.S.G. **Custos: um enfoque administrativo**. 14^a ed. – Rio de Janeiro: Editora FGV, 2001.

LIAO, P. S.; CHEN, T. S. & CHUNG, P. C. A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding. **Journal of Information Science and Engineering**, v. 17, p. 713-727, 2001.

MACHADO, D. S. **Sistema de Inspeção Visual Automática Aplicado ao Controle de Qualidade de Ovos em Linhas de Produção**. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Matemática e Computacional) Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2009.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Legislação, LEI nº 6.305, e no Decreto nº 93.563, de 11/11/86, com a Instrução Normativa nº 12 vigente, de 28 de março de 2008**. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>. Acessado em 10 de abril de 2011a.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Cultura do feijão**. Disponível em <<http://agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao>. >, acessado em 10 abril de 2011b.

MARTINS, F. M. M.; TALAMINI, D. J. D; Novaes, M; **Avicultura: situação e perspectivas brasileira e Mundial**. EMBRAPA, 2006.

MENDOZA, F. DEJMEK, P. & AGUILERA, J. M., Gloss measurements of raw agricultural products using image analysis, **Food Research International**, v. 43, n.1, p. 18-26, 2010.

MESSIAS, A. R.. **Introdução à porta paralela**. Disponível em <http://www.rogercom.com/pparalela/introducao.htm>. Acessado em abril, 2012.

MUNDIM, A. P. F. et al. Aplicando o cenário de desenvolvimento de produtos em um caso prático de capacitação profissional. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 1, p. 1-16, 2002.

NARDELLI, P. M.; MACEDO, M. A. da S. Análise de Viabilidade Econômico-Financeira de uma Unidade de Processamento de Frutas. **Anais... XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER**. Rio Branco, Acre, jul.2008.

NETTO, C.G. Tese atesta riqueza nutricional do feijão consumido no Brasil. **Jornal da UNICAMP**, ed. 380, Campinas, 2007. Disponível em: http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/novembro2007/ju380pag02.html. Acessado : fev, 201

OLIVEIRA NETO, A. A.; TAVARES, W. R. **Introdução à Engenharia de Produção**. Florianópolis: Visual Books, 2006.

OLIVEIRA, L. E. S.; CAVALIN, P. R.; BRITO JR., A. S.; KOERICH, A. L. Inspeção Automática de Defeitos em Madeiras de Pinus usando Visão Computacional. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, v.15 n. 2, p.203 – 217, 2008.

OTSU, N. **A threshold selection method from gray-level histograms**. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, v. 9, n. 1, p. 62–66, 1979.

PEREIRA, C. M. G. **Machine vision in applications of precision vineyard**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores), Universidade de Tras-Os-Montes E Alto Douro, 2009.

PEREIRA, M. J. Z.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Reaction of common bean lines to *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* in controlled conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 5, p. 940 -947, 2011.

PEREZ JUNIOR, J. H.; OLIVEIRA, L. M.; COSTA, R. G. **Gestão estratégica de custos**. São Paulo: Atlas, 1999.

PESANTE-SANTANA, J. A.; WOLDSTAD, J.C. The quality inspection task in modern manufacturing. In: **International Encyclopedia of Ergonomics**, W. Karwowski (ed.), Taylor and Francis, London, 2000.

PORTAL AGRONEGÓCIO AGRICULTURA - FEIJÃO / NOTÍCIA. **Agricultor familiar testa cultivares de feijoeiro comum em Rosário Oeste**. Jul, 2012. Disponível em: <http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=77979>. Acessado em: fev, 2012a.

PORTAL AGRONEGÓCIO AGRICULTURA - FEIJÃO / NOTÍCIA. **Plantio de feijão-macassar se expande no MT**. Ago, 2008. Disponível em: <http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=25373>. Acessado em: fev, 2012b.

PRATT, W. K. **Digital image processing**, New York: John Wiley, 1991.

QUEDIALONGO. **Controle até 7 periféricos através da porta paralela**. Disponível em: <http://quedialongo.blogspot.com.br/2009/12/controla-ate-7-perifericos-atraves-da.html>. Acesso em: Ago, 2012.

RAS, Regras para análise de sementes. Brasília, MAPA/ACS, 399 p, 2009. Disponível em: <http://www.bs.cca.ufsc.br/publicacoes/regras%20analise%20sementes.pdf>. Acessado em: abr, 2012.

REIS, R. P.; MEDEIROS, A. L.; MONTEIRO, L. A. de Custos de Produção da atividade leiteira na região sul de Minas Gerais. **Revista Agecon Search**, v.3, n.2, 2001.

RIBEIRO, C.V.T. **Como fazer projetos de viabilidade econômica: manual de elaboração**. Cuiabá: Edunic, 2000. 294 p.

RIBEIRO, N., D.; MELLO, R., M.; STORCK, L. Variabilidade e interrelações das características morfológicas das sementes de grupos comerciais de feijão. **Revista Brasileira de AGROCIÊNCIA**, v.6 nº3, 213-217, set-dez, 2000.

ROSADO, L. D. S.; PINTO, J. E. B. P.; BOTREL, P. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; NICULAU, E. S.; ALVES, P. B. Influence of leaf processing and type of drying on the content and chemical composition of the essential oil of basil cv. Maria Bonita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 291-296, 2011.

ROSENBERGER, C., EMILR, B., LAURENT, H. Calibration and quality control of cherries by artificial vision. **International Journal of Electronic Imaging**, v. 13, n. 3, p. 539 -546, 2004.

SANTANA, J. C. C.; ARAÚJO, S. A.; LIBRANTZ, A. F. H.; TAMBOURGI, E. B. Optimization of Corn Malt Drying by Use of a Genetic Algorithm. **Drying Technology**, v. 28, p. 1236-1244, 2010.

SATAKE, S.; Baishiki, R. S.; Moser, J. M. **Grain inspection and analysis apparatus and methods**. United States Patent, Patent Number: 5,917,927, Jun. 29, 1999.

SCHINDLER, Atlas. Atendimento avançado a seu serviço: **Usando esteiras rolantes com segurança**. Disponível em: http://www.atlas.schindler.com/ass_23b.pdf. Acessado em agosto de 2011.

SCRAMIM, F.C.L.; Batalha, M. O. Sistemas de custeio para firmas agroalimentares: o caso dos laticínios e empresas processadoras de soja no Brasil. **Gestão & Produção**, vol.5, nº2, São Carlos, 1998.

SILVA, L. J. da; DIAS, D. C. F. S.; MILAGRES, C. C.; DIAS, L. A. S. Relationship between fruit maturation stage and physiological quality of physic nut (*Jatropha curcas* L.) seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 1, p. 39-44, 2012.

SIMÕES, A. S.; COSTA, A. H. R. Classificação de laranjas baseada em padrões visuais. In: 6o. Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente - SBAI/SBA, 2003, Bauru, SP. **Anais do VI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente**, 2003. v. 1. p. 77-81.

TAMBUR, G. S. **Metodologia de inspeção visual e automática de carga em vagões ferroviários**. Dissertação (Mestrado) – Campinas – SP: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. 2007, 96p.

UNIFEIJÃO. **Defeitos do feijão**. Disponível em: http://www.unifeijao.com.br/telas/defeito_feijao.php. Acessado em: mar, 2011.

VENORA, G.; GRILLO, O; RAVALLI, C.; CREMONINI, R., Identification of Italian landraces of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using an image analysis system, **Scientia Horticulturae**, v. 121, n. 4, p. 410-418, 2009.

ANEXO A: Subclasses do feijão segundo a norma Lei nº 93.563 e instrução Normativa nº 12

As subclasses de feijão branco, variados e defeitos encontrados no feijão são descritas a seguir:

1) Subclasses do feijão branco

Brancão - cultivares com grãos de tegumento de cor branca, rugoso, reniformes sem halo e relativamente grandes;

Branca - cultivares com grãos de tegumento branco, liso, sem halo ou com halo, pequeno, com ampla variação de tamanhos e formas;

Fradinho - cultivares com grãos brancos e com um grande halo preto, cultivadas principalmente nos Estados da Bahia e do Rio de Janeiro, e atualmente em expansão na região Sudeste.

2) Subclasses variadas

Mulato - cultivares com grãos de tegumento de cor marrom claro a escuro, com ampla variação em tamanho e forma;

Canapu - cultivares com grãos com tegumento de cor marrom claro, relativamente grandes, bem cheios, levemente comprimidos nas extremidades, com largura, comprimento e altura aproximadamente iguais;

Sempre-Verde - cultivares com grãos de tegumento de cor esverdeada;

Vinagre - cultivares com grãos de tegumento de cor vermelha;

Corujinha - cultivares com grãos de tegumento mosqueado cinza ou azulado;

Azulão - cultivares com grãos de tegumento azulado;

Manteiga - cultivares com grãos de cor creme-amarelada, muito uniforme e que praticamente não se altera com o envelhecimento do grão;

Verde - cultivares que têm o tegumento e/ou cotilédones verdes.

Carioca - são cultivares que têm o tegumento de cor marrom com estrias longitudinais com tonalidade mais escura, semelhantes às do carioca do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L). Essa característica ocorre em materiais silvestres e no cultivo do grupo *esquipedalis*, mas não há informação de que haja cultivares comerciais dessa subclasse em nenhum país.

ANEXO B: Defeitos encontrados no feijão segundo a norma Lei nº 93.563 e instrução Normativa nº 12

a) Mofados

São considerados mofados os grãos inteiros, partidos ou quebrados que apresentarem colônias de fungos (embolorados) visíveis a olho nu, conforme ilustrado na Figura 38. Geralmente o mofo é causado pela falta de ventilação, umidade e calor excessivo, propiciando o aparecimento de fungos. Um grão é considerado mofado a partir da existência de qualquer ponto de mofo, independente do tamanho ou grau de incidência.



Figura 38 - Feijão mofado com colônias de fungos.

Fonte: Unifeijão (2011).

b) Ardidos

São considerados ardidos os grãos inteiros partidos ou quebrados, visivelmente fermentados, com alteração na aparência e na estrutura interna, como ilustrado na Figura 39. Geralmente é causado pela umidade e calor excessivos, provocando fermentação.



Figura 39 - Feijões ardidos visivelmente fermentados.

Fonte: Unifeijão (2011).

c) Carunchados

São considerados carunchados os grãos inteiros partidos ou quebrados que se apresentarem prejudicados por carunchos, causando a perfuração no tegumento e cotilédone provocados por carunchos, na lavoura e no armazém, deve-se considerar como carunchado o grão de feijão que apresente orifício provocado por caruncho ou aquele que apresente pequenos óvulos brancos visíveis. Alguns exemplos de feijões carunchados são mostrados na Figura 40.



Figura 40 - Feijões carunchados com furos causados pelo inseto.

Fonte: Unifeijão (2011).

d) Amassados

São considerados amassados os grãos inteiros, partidos ou quebrados, danificados por ação mecânica com rompimento da película, causados por danos mecânicos. É considerado como amassado somente o grão que apresente o cotilédone amassado e com a ruptura do tegumento (casca), como mostrado na Figura 41.



Figura 41 - Feijões amassados.

Fonte: Unifeijão (2011).

e) Danificados por outros insetos

São considerados danificados por outros insetos os grãos inteiros, partidos ou quebrados que se apresentarem picados (alfinetados) e/ou deformações acentuadas afetando os cotilédones. Causados pela ação de insetos sugadores na lavoura ou com inoculações de microorganismos, causando deformação. São considerados grãos picados somente aqueles que apresentem uma lesão, seja furo e/ou deformação do cotilédone, como mostrado na Figura 42.



Figura 42 - Feijões danificados por outros insetos que picam os grãos.

Fonte: Unifeijão (2011).

f) Brotados

São considerados brotados os grãos que apresentarem início visível de germinação. A causa geralmente é a umidade e o calor excessivos. É considerado como grão brotado o feijão que apresente a radícula (broto) visível em qualquer fase ou de qualquer tamanho, como pode ser visto na Figura 43.



Figura 43 - Feijões brotados já germinados pela ação da umidade.

Fonte: Unifeijão (2011).

g) Enrugados

São considerados enrugados os grãos que apresentarem enrugamento acentuado no tegumento e cotilédones. A causa normalmente é o ataque de doenças (bactérias), maturação e desenvolvimento fisiológico incompleto. É considerado como grão enrugado somente o feijão que apresente os cotilédones e tegumento com enrugamento acentuado, como ilustrado na Figura 44.



Figura 44 - Feijões enrugados não desenvolvidos completamente.

Fonte: Unifeijão (2011).

h) Manchados

São considerados manchados os grãos e pedaços de grãos que apresentarem manchas visíveis em mais de $\frac{1}{4}$ (um quarto) da película, mas sem alterar a polpa. As causas geralmente são doenças e chuvas que provocam reações externas no tegumento (cascas) manchando a cor natural. É considerado como grão manchado somente se não afetar o grão na parte interna (cotilédone).

i) Descoloridos

São considerados descoloridos os grãos inteiros, partidos ou quebrados que apresentarem alteração total na cor da película, sem alterar a polpa. Geralmente a descoloração é causada pelo fisiológico incompleto, excesso de luminosidade e armazenamento por longo período. Não deve ser considerado como grão descolorido o feijão que tenha alteração da coloração original por processo de envelhecimento ou secagem, desde que a totalidade dos grãos do lote analisado apresente a mesma cor.

j) Partidos

São considerados partidos os grãos que, devido ao rompimento da película, se apresentarem divididos em seus cotilédones, desde que se apresentem sadios. Deve-se considerar como partidos somente os grãos que se apresentem partidos ao meio (separado o cotilédone) sem quebras.

k) Quebrados

São considerados quebrados os grãos quebrados e sadios que não vazarem numa peneira de crivos circulares de cinco milímetros de diâmetro. São considerados como grãos quebrados, os pedaços de grãos que sejam divididos e que se apresentem com falta de pedaços.

l) Matérias estranhas

São considerados os grãos e sementes de outras espécies botânicas, detritos vegetais e corpos estranhos de qualquer natureza, não oriundos da espécie considerada. É considerado como matérias estranhas todas as partículas que fiquem retidas na peneira de crivos circulares de cinco milímetros de diâmetro e aquelas retiradas normalmente da amostra de grãos analisada (MAPA, 2011a).

m) Impurezas

São consideradas impurezas todas as partículas oriundas do feijoeiro, bem como os grãos defeituosos e fragmentos de grãos que vazarem na peneira de crivos circulares de cinco milímetros de diâmetro. Considerar as impurezas que vazarem na peneira de cinco milímetros e aquelas retiradas manualmente da amostra de grãos analisada.

ANEXO C: Fluxograma do algoritmo proposto

Figura 45 - Fluxograma com as etapas de funcionamento do algoritmo proposto.

ANEXO D: Trabalhos resultantes desta dissertação publicados em anais de eventos científicos

1. PIRES, A. C.; ARAUJO, S. A., SANTANA, J.C.C.A problemática da aplicação das normas da qualidade de classificação de feijão no Brasil.**XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO**, Bento Gonçalves, RS, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2012.
2. PIRES, A. C.; ARAUJO, S. A. A classificação automática de sementes de feijão usando técnicas de visão computacional.**XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO**, Belo Horizonte, MG, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2011.