



UM SISTEMA DE ANÁLISE DE IMAGENS PARA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE GRÃOS DE FEIJÃO BRASILEIRO

Peterson Adriano Belan

Sidnei Alves de Araújo

belan@uninove.br

saraujo@uninove.br

Programa de Pós-graduação em Informática e Gestão do Conhecimento, Universidade Nove de Julho, Av. Francisco Matarazzo, 612, CEP 05001-100, São Paulo, SP – Brasil.

José Carlos Curvelo Santana

jccurvelo@uninove.br

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – Universidade Nove de Julho, Av. Francisco Matarazzo, 612, CEP 05001-100, São Paulo, SP – Brasil.

Resumo. Neste trabalho é proposto um sistema computacional, baseado em técnicas de processamento e análise de imagens, capaz de classificar os grãos contidos em uma amostra de acordo com as suas cores de pele. Nos experimentos realizados, empregou-se um aparato controlado por um computador que inclui uma esteira transportadora e uma câmera para aquisição das imagens, visando simular uma linha de produção industrial. Os resultados obtidos nos experimentos indicam o sistema proposto poderia ser utilizado para auxiliar na inspeção da qualidade do feijão produzido no país, tendo em vista que uma das etapas deste processo é a aferição da mistura contida em uma amostra, levando em conta a coloração da película dos grãos, para determinação da classe predominante do produto, a qual impacta diretamente no seu preço de mercado.

Palavras-chave: Feijão, qualidade, inspeção visual automática, processamento e análise de imagens

1 INTRODUÇÃO

O feijão é uma leguminosa rica em energia e proteínas e representa, junto com o arroz, a base da dieta alimentar do povo brasileiro. Suas propriedades visuais, assim como para a maioria dos produtos alimentícios, consistem em um critério de vital importância para a sua escolha pelo consumidor e para a determinação do seu preço de mercado.

No Brasil, a qualidade do feijão segue um conjunto de normas e procedimentos do Ministério da Agricultura para o enquadramento do produto em Grupo, Classe e Tipo (MAPA, 2011). O Grupo se refere à espécie botânica, podendo o feijão ser enquadrado no Grupo I, quando pertencente à espécie *Phaseolus vulgaris* L. (feijão anão), ou no 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 ou Misturado), independente do Grupo. Tanto no Grupo I quanto no Grupo II os feijões são subdivididos nas classes Branco, Preto, Cores e Misturado. A classe Branco é subdividida em subclasses como Brancão, Branco, Fradinho, etc. Já a classe Cores é subdividida em subclasses como Carioca, Mulato, Canapu, Corujinha, Azulão, Manteiga, Verde, Vinagre, etc. Por fim, o Tipo está relacionado às características qualitativas do produto, sendo definido de acordo com os limites máximos de tolerância de defeitos encontrados na amostra, tais como quebrado, mofado, queimado, esmagado, danificado por insetos (carunchado), brotado, amassado, manchado, descolorido e danificado por diversas outras causas.

Basicamente, o procedimento de inspeção da qualidade do feijão brasileiro pode ser descrito como segue: duas amostras de 250g de um lote de grãos são separadas, uma para análise de humidade e outra para inspeção visual. Nesta última etapa, primeiro é feito o cálculo da percentagem, em termos de peso, de matérias estranhas, impurezas e insetos mortos. Depois determina-se o tipo (1, 2 ou 3), de acordo com as quantidades de grãos defeituosos na amostra. O controle de qualidade também envolve a determinação do percentual dos grãos de diferentes grupos, classes e subclasses presentes na amostra analisada.

O processo de inspeção da qualidade do feijão brasileiro é feito de forma manual e, portanto, suscetível a problemas como o alto custo e a dificuldade de padronização dos resultados. Assim, o desenvolvimento de um sistema de inspeção visual automático capaz de detectar defeitos e classificar automaticamente os grãos de feijão em uma amostra é uma ferramenta útil para auxiliar no processo de inspeção da qualidade do produto, além de propiciar a redução de custos operacionais e a padronização de resultados, gerando diferencial competitivo para as empresas.

Existem diversos trabalhos propondo o uso de sistemas baseados em técnicas de análise e processamento de imagens, ou Sistemas de Visão Computacional (SVC), para classificação de sementes e grãos. No entanto, em nossa revisão da literatura, encontramos apenas alguns trabalhos tratando especificamente de análise e classificação de feijões. Entre eles, podemos citar (Kiliç et al., 2007; Aguilera et al., 2007; Venora et al., 2007; Venora et al., 2009; Laurent et al., 2010; Araújo et al. 2015).

Kiliç et al. (2007) propuseram um SVC para a classificar sementes de feijão com base na cor e no tamanho das sementes, utilizando histogramas de cores e uma rede neural artificial Multilayer Perceptron. A taxa de acertos de classificação obtida neste trabalho foi de 90,6%.

Aguilera et al. (2007) desenvolveram um sistema de visão computacional para classificar sementes, feijões e cereais. No entanto, nos experimentos conduzidos neste trabalho, apenas grãos de arroz e lentilhas foram considerados.

Venora et al. (2007) propuseram um SVC para a identificação de seis variedades de feijões cultivados na Itália. Nos experimentos, eles utilizaram atributos como tamanho, forma, cor e textura dos grãos e obtiveram uma taxa de acertos de 99,56%. Os mesmos autores, em um trabalho posterior (Venora et al., 2009), conduziram novos experimentos levando em conta quinze variedades de feijão italiano, onde eles alcançaram uma taxa de acertos de 98,49%.

Laurent et al. (2010) usaram técnicas de processamento de imagens para avaliar alterações na coloração do feijão durante o armazenamento, com intuito de correlacionar tais alterações com um fenômeno chamado “grãos difíceis de cozinhar”. Os resultados mostraram a existência desta correlação e confirmaram a eficiência do modelo proposto.

No entanto, os sistemas desenvolvidos nos trabalhos de Kiliç et al. (2007), Aguilera et al. (2007), Venora et al. (2007, 2009) e Laurent et al. (2010) falham em imagens com grãos "gradados". Por esse motivo, nos experimentos realizados nestes trabalhos, os grãos são colocados espaçados uns dos outros propositalmente antes de adquirir a imagem para facilitar a segmentação, ou apenas grãos previamente segmentados são processados. Esta é uma limitação muito grave que dificulta a aplicabilidade destes sistemas em processos industriais. Em adição, tais trabalhos não consideram os feijões consumidos no Brasil (Carioca, Mulato e Preto).

O sistema proposto por Araújo et al. (2015) para classificar feijões brasileiros é bastante robusto e supera as limitações apresentadas pelos trabalhos anteriores no que tange o processo de segmentação. Contudo, o tempo computacional gasto, principalmente no processo de segmentação, ainda precisa ser melhorado para viabilizar a aplicação prática do sistema. Para efeitos comparativos, o referido sistema gasta, em média, 18 segundos para processar a imagem de uma amostra com tamanho de 800×600 pixels. É nesse contexto que propomos um sistema computacional para classificar automaticamente os grãos de feijões mais consumidos no Brasil, com um baixo tempo de processamento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os algoritmos desenvolvidos neste trabalho foram implementados em linguagem C/C++, utilizando o compilador DevC++ e as bibliotecas para Processamento de Imagens e Visão Computacional Proeikon (Kim, 2006) e OpenCV (INTEL, 2000).

Para condução dos experimentos, foram utilizadas 100 imagens de amostras de feijão variando os percentuais de grãos pretos, mulatos e cariocas (Figura 1) em cada amostra, composta por 100 grãos no total. As 100 imagens estão divididas em 10 subconjuntos, cada um contendo 10 imagens com as mesmas quantidades de grãos pretos, mulatos e cariocas, apenas variando suas posições, como mostra a Tabela 1.

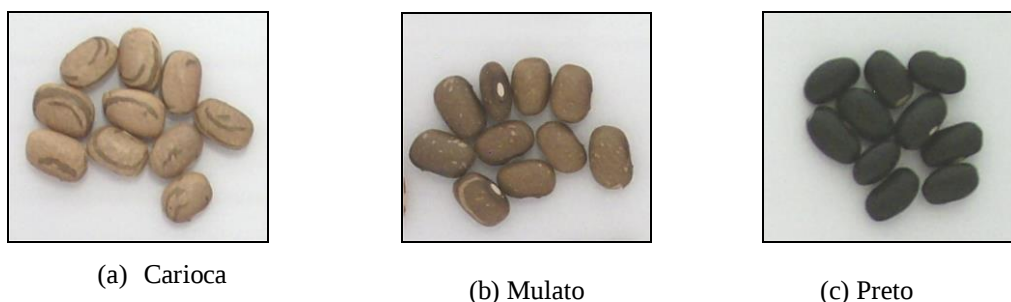


Figura 1. Amostras de feijões mais consumidos no Brasil (Araújo et al., 2015).

Tabela 1. Conjunto de imagens adquiridas e processadas pelo sistema proposto.

Subconjunto	Total de Imagens	Quantidade de grãos cariocas	Quantidade de grãos mulatos	Quantidade de grãos pretos
1	10	100	0	0
2	10	95	5	0
3	10	95	0	5
4	10	90	5	5
5	10	85	10	5
6	10	85	5	10
7	10	80	10	10
8	10	85	15	0
9	10	85	0	15
10	10	70	15	15
Total	100	8700	650	650

O conjunto de imagens apresentado na Tabela 1 é um dos utilizados nos experimentos descritos em Araújo et al. (2015), os quais propuseram o aparato mostrado na Figura 2 e o utilizaram em seus experimentos.



Figura 2. Aparato usado nos experimentos.

Nos experimentos realizados, o objetivo do sistema 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, propiciando o cálculo do percentual da mistura ao final da análise de uma determinada quantidade de grãos, a fim de determinar a classe predominante.

Para analisar o desempenho do sistema proposto nesse trabalho empregou-se a taxa de acertos, descrita na Equação 1 a seguir:

$$\text{Taxa de acertos (hit rate)} = \frac{VP}{VP + FN} \times 100 \quad (1)$$

Na qual: VP representa o número de detecções corretas (verdadeiros positivos), FP o número de grãos detectados incorretamente (falsos positivos) e FN a quantidade grãos que deveriam, mas que não foram detectados (falsos negativos).

3 O SISTEMA PROPOSTO

O sistema proposto tem como entrada uma imagem colorida no formato *RGB* (*Red*, *Green*, *Blue*), com 800×600 pixels, denotada por c_1 e ilustrada na Figura 3a. O primeiro passo é a conversão dessa imagem para o sistema de cores *CMYK* (*Cyan*, *Magenta*, *Yellow*, *Black*), gerando a imagem c_2 . Em seguida, uma limiarização com base em informações dos canais *K* e *M* da imagem c_2 é realizada (Equação 2), gerando uma imagem binária b_1 , contendo principalmente os pixels pertencentes aos feijões pretos e mulatos (Figura 3b) e descartando os pixels pertencentes ao fundo (*background*) e a maioria dos pixels dos feijões cariocas. Vale ressaltar que o valor definido como limiar (160) foi determinado experimentalmente.

$$b_1(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{se } 255 - (255 * (1.0 - c_2(x, y).M) * (1.0 * c_2(x, y).K)) > 160 \\ 1, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

onde $c_2(x, y).M \in [0, 1]$ e $c_2(x, y).K \in [0, 1]$ representam, respectivamente, os canais *M* e *K* do pixel (x, y) da imagem c_2 .

Nos passos seguintes, realiza-se o preenchimento dos componentes conexos (CCs) que possuem furos, gerando a imagem binária b_2 mostrada na Figura 3c. Em seguida, aplica-se a operação morfológica (Equação 3) de abertura (Gonzalez & Woods, 2000) na imagem b_2 com um elemento estruturantes e_1 , gerando a imagem b_3 , ilustrada na Figura 3d, com intuito de remover linhas finas e o romper istmos estreitos que ligam grãos.

$$b_3 = b_2 \circ e_1 \quad (3)$$

A próxima etapa consiste na remoção dos CCs com número de pixels menor que um limiar l_{cc} . Dessa forma, são removidos os componentes que não representam grãos de feijão. Os componentes restantes compõem a imagem b_4 mostrada na Figura 3e.

Na sequência é realizada uma etapa onde os CCs considerados grandes demais para representar um grão são divididos com base no cálculo de seus momentos estatísticos (comprimento e ângulo do maior eixo), gerando a imagem b_5 . O intuito desta abordagem é separar grãos grudados, como mostrado na Figura 3f. Isso é possível porque o comprimento

médio do maior eixo de um grão é conhecido a priori e usado como heurística no processo de divisão.

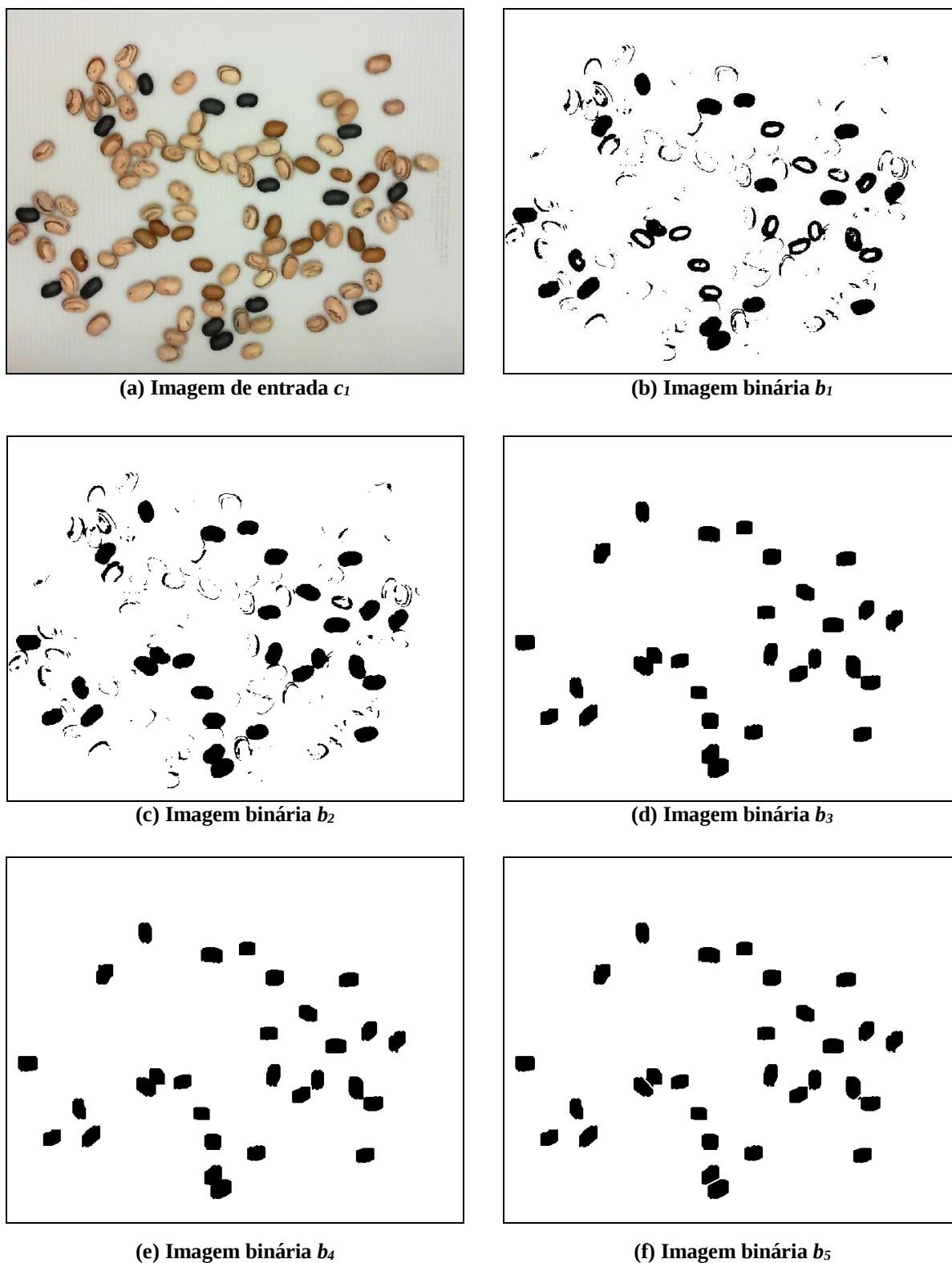


Figura 3. Etapas de processamento do sistema proposto.

Na etapa final do sistema utilizam-se as informações das coordenadas dos centros dos

CCs contidos na imagem b_5 para gerar a imagem de saída s (Figura 4), na qual os grãos pretos e mulatos estão assinalados com um “x” na cor verde.

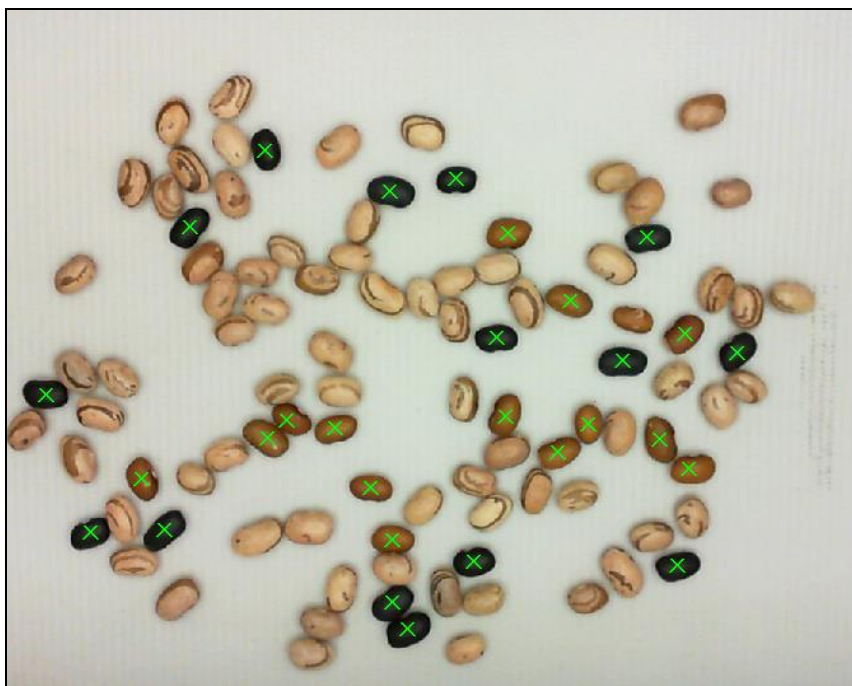


Figura 4. Resultado final dos passos de processamento do sistema proposto.

Com base no resultado mostrado na Figura 4, na qual se tem os grãos mulatos e pretos detectados é que se computa a quantidade de feijões cariocas contidos na amostra da imagem processada.

Utilizando um microcomputador Intel Core i7 2.2GHz, o sistema proposto gastou, em média, 0,5 segundos para processar uma imagem de 800×600 pixels. Embora o sistema não discrimine as quantidades de grãos pretos e mulatos separadamente, o tempo computacional despendido para processar a imagem de uma amostra é cerca de $1/36$ do tempo gasto pelo sistema apresentado em Araújo et al. (2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos experimentos realizados com o sistema proposto estão sumarizados na Tabela 2. Para tanto, adotou-se $l_{cc}=300$ (limiar para filtragem de CCs) tendo em vista que este limiar mostrou ser adequado para maximizar o desempenho do sistema.

Cada subconjunto processado está identificado na primeira coluna. Nas colunas seguintes apresentam-se as quantidades de detecções corretas (VP); de grãos detectados incorretamente (FP); de grãos que deveriam, mas não foram detectados (FN) e, finalmente, a taxa de acertos do sistema, a qual foi computada com base na quantidade total de grãos contidos nas amostras de cada subconjunto (Tabela 1). Para o subconjunto 1, no qual as amostras continham apenas grãos de feijão carioca, a taxa de acertos é 100% quando o sistema não detecta grão algum.

Tabela 2. Resultados experimentais obtidos pelo sistema proposto com $l_{cc} = 300$.

Subconjunto	VP	FP	FN	Taxa de acertos (%)
1	999	1	0	99,9
2	1000	0	0	100,0
3	1000	0	0	100,0
4	997	0	3	99,7
5	993	0	7	99,3
6	998	0	2	99,8
7	999	0	1	99,9
8	998	1	1	99,8
9	998	0	2	99,8
10	989	0	11	98,9
Total	9971	2	27	99,7

Como pode ser visto na Tabela 2, a taxa de acertos do sistema foi de 99,7% com quantidade de FP muito baixa (2) e FN relativamente baixa (apenas 27 grãos pretos e mulatos deixaram de ser detectados).

Também pode ser visto na Tabela 2 que a taxa de acertos foi, para praticamente todos os subconjuntos, acima de 99,5%, sendo verificado o pior resultado para o subconjunto 10. Para mitigar tal problema, apresenta-se na Figura 5 o resultado do processamento de uma amostra desse subconjunto para a qual se obteve a pior taxa de acertos (4 casos de FP).

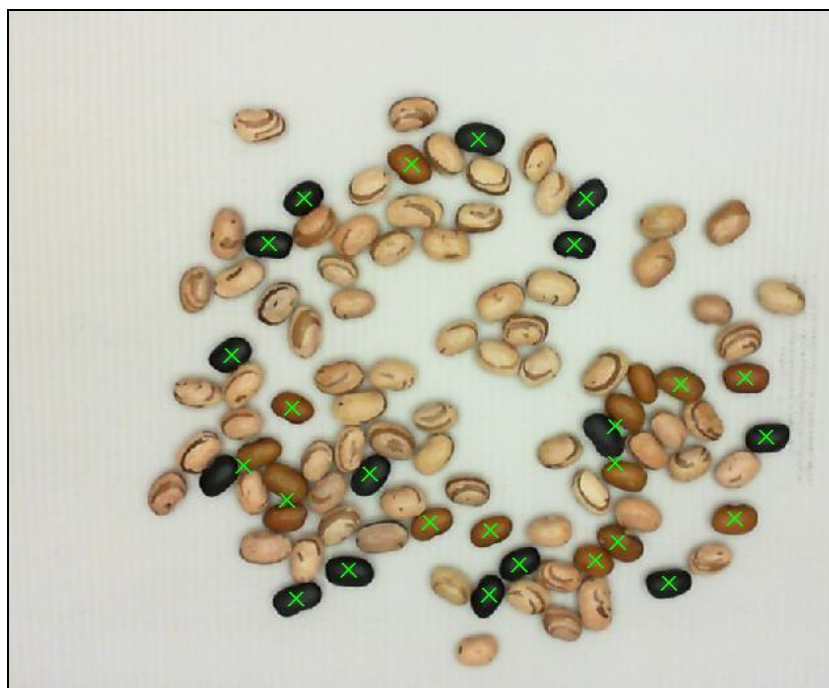


Figura 5. Imagem do subconjunto 10 contendo 4 casos de FP.

Na imagem apresentada na Figura 5 pode-se observar que quatro grãos de feijões mulatos não foram detectados. Esses casos de FP, assim como muitos outros, provavelmente ocorreram em função de mais de dois grãos estarem grudados provocando falhas na rotina de separação dos CCs.

Por fim, cabe ressaltar que a proposta apresentada neste trabalho é ligeiramente diferente da apresentada em Araújo et al. (2015), os quais propuseram o processamento em dois passos (Segmentação, na qual se obteve 99,96% de taxa de sucesso e Classificação, onde a taxa de acertos foi de 99,99%). Contudo, guardadas as diferenças entre as duas abordagens, pode-se dizer que o sistema aqui proposto obteve um bom desempenho.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentou-se um sistema computacional para classificação automática de grãos de feijão com base na coloração de suas películas. Especificamente, foi desenvolvido um sistema para detectar grãos não pertencentes à subclasse carioca em imagens de amostras contendo feijões carioca, mulato e preto. A partir dos experimentos realizados conclui-se que a abordagem poderia ser empregada para finalidade proposta tendo em vista a taxa média de acertos obtida (99,7%). Contudo, vale destacar que alguns efeitos locais de iluminação, além da escolha adequada do elemento estruturante empregado na operação de abertura e a escolha do limiar para filtrar os componentes conexos considerados pequenos (l_{cc}), podem afetar o desempenho do sistema. Não obstante, é válido ressaltar ainda que, embora o sistema proposto neste trabalho seja rápido, no que tange ao tempo computacional gasto para processar uma imagem, ele ainda requer melhorias para ser comparável ao melhor sistema encontrado na literatura. Em trabalhos futuros pretende-se, além de contornar as limitações anteriormente descritas, considerar na abordagem a detecção e classificação de todos os grãos contidos na imagem, além de melhorar o mecanismo de separação de grãos visando contornar os problemas encontrados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UNINOVE pela bolsa concedida a um dos autores (P.A. Belan) e à FAPESP (Processo 2014/09194-5) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- Aguilera, J.M., Cipriano, A., Eraña, M., Lillo, I., Mery, D., Soto, A. 2007. *Computer Vision for Quality Control in Latin American Food Industry: a Case Study*. In: Proceedings of 7th Int. Conf. on Computer Vision: Workshop on Computer Vision Applications for Developing Countries, Rio de Janeiro, pp. 1–11.
- Araújo, S. A., Pessota, J. H. Kim, H. Y. 2015. Beans quality inspection using correlation-based granulometry, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 40, pp. 84-94.
- Gonzalez, R. C. & Woods, R. E. 2000. *Processamento de imagens digitais*, São Paulo: Edgard Blucher.
- INTEL. *OpenCV - Open Source Computer Vision Library*. 2000. Disponível em: <<http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>>. Acesso em: 09 out. 2007.

Kiliç, K., Boyacı, I. H., Köksel, H., Küsmenoglu, I.A. 2007. Classification system for beans using computer vision system and artificial neural networks. *Journal of Food Engineering*, 78 (3), pp. 897–904.

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>>. Acesso em fev. 2010.

Laurent, B., Ousman, B., Dzudie, T., Carl, M.F.M., Emmanuel, T. 2010. Digital camera images processing of hard-to-cook beans. *Journal of Engineering and Technology Research*, 2 (9), pp. 177–188.

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>. Acesso em 10 de abril de 2011.

Venora, G., Grillo, O., Ravalli, C., Cremonini, R. 2007. Tuscany beans landraces, on-line identification from seeds inspection by image analysis and Linear Discriminant Analysis. *Agrochimica*, 51 (4-5), pp. 254-268.

Venora, G., Grillo, O., Ravalli, C., Cremonini, R. 2009. Identification of Italian landraces of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using an image analysis system. *Scientia Horticulturae*, 121 (4), pp. 410–418.