

# Segmentação de amêndoas de cacau em imagens digitais de tábuas de corte

Prabhát K. de Oliveira<sup>1</sup>, Patrick S. Ferraz<sup>1</sup>, Marta Magda Dornelles<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ciência da Computação – Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)  
45662-900 – Ilhéus – BA – Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas  
Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) – 45662-900 – Ilhéus – BA – Brasil

bartkoliveira@gmail.com, patrick.ferraz@outlook.com, mmbertoldi@uesc.br

**Abstract.** *The cut proof is a worldwide test, consisting of the olfactory and visual analysis of almonds by a specialist. The evaluation is done with 300 randomly selected almonds, and assists in the overall classification of the lot, indicating, for example, if it can be used for the production of gourmet chocolate. In this sense, the paper presents a methodology for the segmentation of cocoa almonds in cutting boards using the concepts of image processing. Segmented almonds may be used in a posterior classification and qualification process. The methodology consists of the previous treatment of the image to then use edge detection, segmenting and extracting the almonds from the cutting board. The methodology was implemented and tested for the classes: flattened, slate, germinated, insect, brown, partially brown and violet, showing promise.*

**Resumo.** *A prova de corte é um teste mundialmente utilizado, consiste na análise olfativa e visual de amêndoas por um especialista. A avaliação é feita com 300 amêndoas, selecionadas ao acaso, e auxilia na classificação total do lote, indicando, por exemplo, se o mesmo pode ser utilizado para produção de chocolate gourmet. Neste sentido, o trabalho apresenta uma metodologia para segmentação de amêndoas em tábua de corte utilizando os conceitos de processamento de imagens, que poderão ser utilizadas em um processo posterior de classificação e qualificação. A metodologia consiste no tratamento prévio da imagem para então utilizar detecção de bordas, segmentando e extraindo as amêndoas da tábua de corte. A metodologia foi implementada e testada para as classes: achatada, ardósia, germinada, inseto, marrom, parcialmente marrom e violeta, mostrando-se promissora.*

## 1. Introdução

O fruto do cacau tornou-se popular, sendo um dos alimentos mais apreciados do mundo [Anuário Brasileiro do Cacau 2016]. Uma das causas desta popularidade é a comercialização de chocolate, e depende de alguns fatores relacionados às amêndoas de cacau, nomenclatura dada às sementes do cacau, como as características físicas de salubridade, produção de material comestível e características da manteiga de cacau [Ferreira et al. 2013]. Seu notório sabor, apesar dos atributos genéticos, devem-se também às modificações que ocorrem durante sua primeira etapa de produção, o beneficiamento, que se estende desde o seu cultivo, colheita, abertura dos frutos, retirada das

sementes, extração da polpa ou do mel, fermentação das sementes, secagem e armazenamento das amêndoas [Efraim et al. 2010].

Existem metodologias que podem ser aplicadas em cada fase do beneficiamento para melhorar a qualidade da amêndoa final. Essa qualidade pode ser verificada pela prova de corte, que é a inspeção visual e olfativa sobre amêndoas de cacau extraídas de um lote de amêndoas. O objetivo é avaliar se o beneficiamento foi realizado corretamente e em que fase do processo ocorreram problemas [Feitosa 2016]. Além disso, a prova de corte fornece uma classificação para o respectivo lote, indicando a qualidade das amêndoas.

Em Ilhéus-BA A CEPLAC, Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, realiza a prova de corte que é executada de forma manual em que a inspeção visual demora em torno de 90 minutos para ser realizada. O resultado está sujeito a erros humanos e percepções individuais do especialista.

Existe um equipamento que realiza a medição da cor de alimentos, é o espectrofotômetrocolorímetro, que poderia auxiliar na inspeção visual das amêndoas, mas o seu custo é elevado (valor R\$ 166.796,42 em 2017) e a CEPLAC não dispõem de recursos para sua aquisição.

Com a intenção de auxiliar o especialista na análise visual sem a necessidade de equipamento específico para tal, dando maior confiabilidade ao resultado do processo e utilizando um aplicativo em celular, está em desenvolvimento uma proposta de sistema computacional para a inspeção visual da prova de corte. A primeira etapa deste projeto é a aquisição de uma imagem digital, mediante celular, das amêndoas dispostas sobre uma tábua de corte e, a partir dessa imagem, deve-se realizar a extração de cada amêndoa para posterior classificação. O objetivo deste texto é apresentar uma metodologia para a segmentação das amêndoas dispostas em uma tábua de corte.

## **2. Referencial teórico**

### **2.1. Prova de corte**

Normalmente a prova de corte é utilizada para: mensurar o grau de fermentação das amêndoas baseado na coloração; avaliar o aroma das amêndoas antes do corte como fumaça, por exemplo, que pode desqualificar a utilização das amêndoas; verificar infestação de pragas, presença de fungos, quantidade de amêndoas germinadas, achata-das, entre outros. A avaliação resulta na classificação do lote, do qual as amêndoas foram extraídas, em tipo 1, tipo 2, tipo 3 ou fora de tipo [Silva et al. 2013], de acordo com a instrução normativa nº 38/2008 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 38/2008), que define o padrão oficial de classificação de amêndoas de cacau. Tipo 1 é a melhor classificação dada a um lote.

A prova de corte envolve a inspeção visual e olfativa sobre 300 amêndoas de cacau, selecionadas ao acaso em um lote de amêndoas, cortadas longitudinalmente. Após o corte, uma metade é descartada e a outra é inspecionada e disposta em uma tábua contendo 300 orifícios (Figura 1).



**Figura 1. Exemplo de tábua de corte sem amêndoas.**

Na inspeção visual das amêndoas elas são classificadas nas categorias a seguir:

- Amêndoa tipo achatada** (Figura 2(a)) - caracterizada por seu tamanho pequeno e, geralmente, a amêndoa é seca.
- Amêndoa albina** (Figura 2(b)) - caracterizada por apresentar uma cor marmorizada, próxima de branca.
- Amêndoa tipo ardósia** (Figura 2(c)) - possui cor purpúrea (cinza-enverdeado) e geralmente é chapada, sem compartimentação. Não possui sabor característico de chocolate sendo normalmente muito adstringente.
- Amêndoa tipo germinada** (Figura 2(d)) - apresentam a casca furada pelo desenvolvimento do embrião.
- Amêndoa tipo inseto/brocada** (Figura 2(e)) - característica de amêndoa estocada em local infestado de insetos. Seu interior apresenta-se carcomido pela ação dos insetos.
- Amêndoa tipo marrom** (Figura 2(f)) - possui cor marrom escura . Normalmente é proveniente de cacau bem fermentado.
- Amêndoa mofada** (Figura 2(g)) - caracterizada por mofo.
- Amêndoa tipo parcialmente marrom** (Figura 2(h)) - possui cor amarronzada. Normalmente é proveniente de cacau bem fermentado, mas a variação na intensidade do cacau pode caracterizar uma variação no grau de fermentação.
- Amêndoa tipo violeta** (Figura 2(i)) - parte interna da amêndoa com cor escura, resistente ao corte. Não possui sabor característico de chocolate sendo normalmente muito adstringente.

Um exemplo para cada categoria pode ser observado na Figura 2. A porcentagem de cada uma dessas categorias de amêndoa na tábua de corte estabelece a qualidade do lote, de acordo com os tipos 1, 2, 3 e sem tipo. Quando a amêndoa apresentar mais de um defeito, será computado apenas o mais prejudicial de acordo com a ordem de gravidade estabelecida na IN-38/2008.



**Figura 2. Exemplo para cada categoria de amêndoa.**

## **2.2. Trabalhos correlatos**

Foram pesquisados alguns trabalhos na linha da prova de corte, mas não foi encontrado trabalho com a mesma ideia deste texto. Alguns trabalhos discutem os critérios para qualificar tanto as amêndoas de cacau como o chocolate, como o trabalho apresentado em [CAOBISCO/ECA/FCC 2015]. Nesse, são apresentadas as regras que devem ser seguidas para que haja a comprovação da qualidade de amêndoas. É dito sobre o que é a prova de corte, qual a finalidade, a quantidade de amostras que deve ser selecionada, e sobre o corte a ser feito em cada amêndoa. Fala-se ainda sobre as categorias classificadas pela ISO, e sobre o uso de apenas uma parte delas.

O guia [Ferreira et al. 2013] fala da importância do beneficiamento das sementes de cacau e o passo a passo, assim como em [CEPLAC 2011]. O guia apresenta também dicas e técnicas, para que o cacau seja produzido com elevado padrão de qualidade, possui também dados que auxiliam a identificar a classe dado a tolerância máxima de percentuais de defeitos para amêndoas de cacau comercial.

Outras pesquisas focam a caracterização das amêndoas analisando seus compostos físico-químicos, como é o caso de [Cruz 2012] e [Silva et al. 2013]. O trabalho de [Feitosa 2016] realiza uma investigação visual microscópica sobre as amêndoas cortadas. A ideia é interessante, mas levaria um tempo superior aos 90 minutos da prova de corte, além da necessidade de um equipamento específico.

## **3. Metodologia proposta para segmentação das amêndoas**

### **3.1. Aquisição**

A imagem de entrada é capturada por celular, com resolução de 3072x1728 pixels, no formato jpg. A distância focal é de 25mm, abertura de f/2.2. A captura foi realizada no modo automático, com flash ativado, resolução de 72 dpi. As imagens são capturadas de forma que a câmera esteja perpendicular à tábua de corte. Dois exemplos são apresentados na Figura 3.



Figura 3. Exemplos de tábuas de corte capturadas com celular.

A metodologia implementada foi aplicada sobre 8 imagens. Uma imagem da tábua toda preenchida, contemplando todas as classes de amêndoas e 7 imagens (como as da Figura 3.b) das seguintes classes cada uma: achatada, ardósia, parcialmente marrom, marrom, inseto, germinada e violeta.

### 3.2. Pré-processamento e Processamento

Foram realizados estudos e experimentos com alguns algoritmos de segmentação, que tiveram como entrada a Figura 4. Os testes visaram avaliar a variação dos parâmetros dos algoritmos, e os resultados de alguns dos testes podem ser vistos nas Figuras 5 e Figura 6.



Figura 4. Imagem de entrada

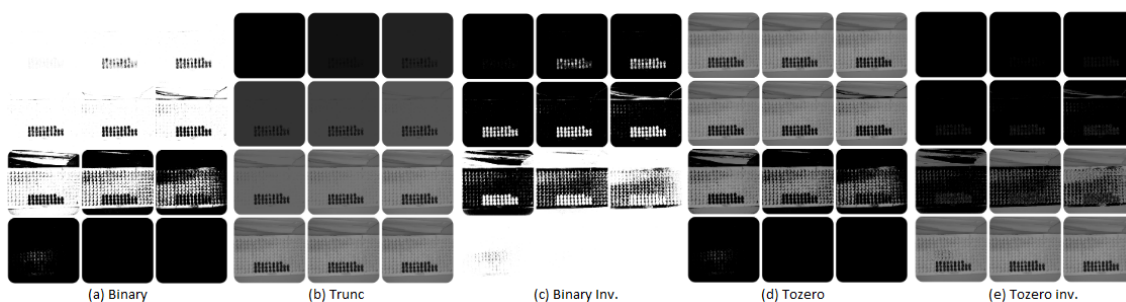
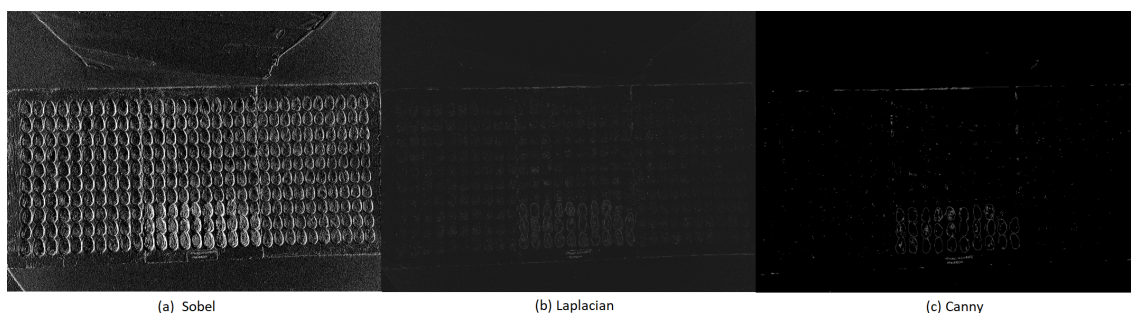


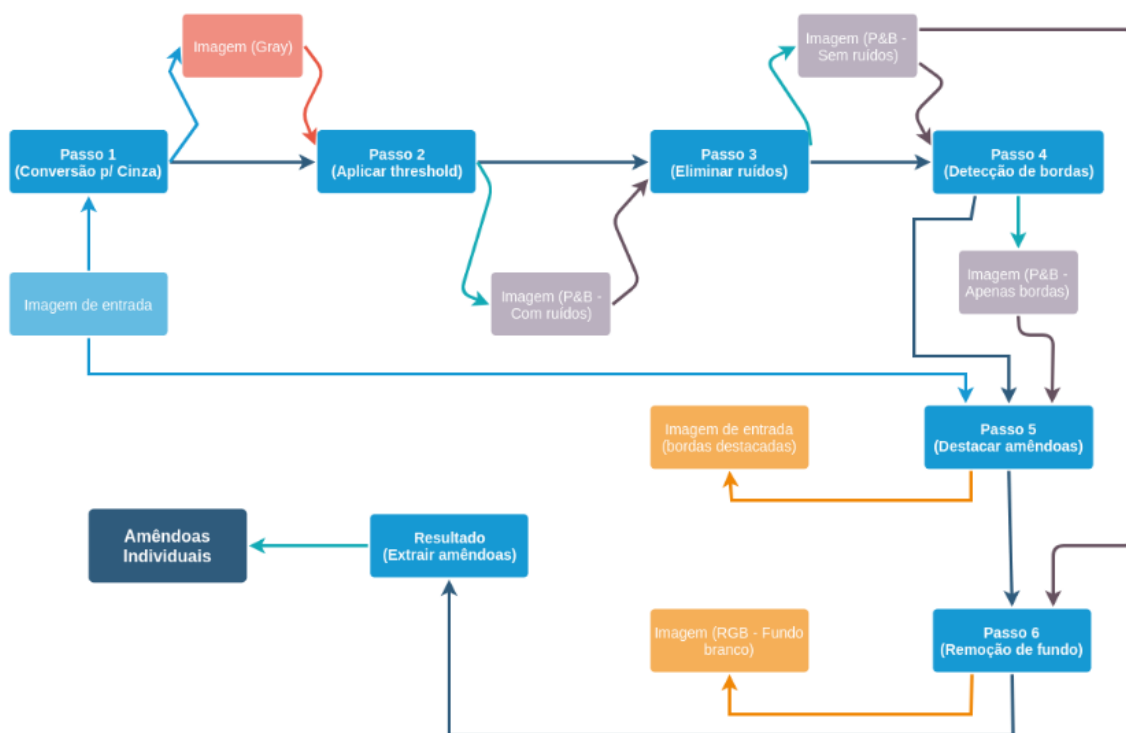
Figura 5. Testes com algoritmos de segmentação



**Figura 6. Testes com algoritmos de detecção de borda**

Baseado nos testes, constatou-se que nenhum dos algoritmos testados, por si só, conseguia realizar a segmentação das amêndoas então, na metodologia foi proposto a utilização da combinação de dois desses algoritmos, o threshold e o Canny.

A metodologia foi dividida em passos como apresentado na Figura 7, onde o primeiro passo consiste na conversão da imagem de entrada para escala de cinza, onde é posteriormente utilizada no passo seguinte (Passo II) na aplicação do threshold, gerando assim uma imagem binária. Eventualmente, pela presença de impurezas na tábua de corte, podem aparecer ruídos na imagem binária, que afetará a aplicação do algoritmo no passo seguinte, então viu-se a necessidade de utilização de algoritmos de remoção de ruído. Nesta etapa (Passo III), foram utilizados os operadores morfológicos de erosão e dilatação [Dougherty and Lotufo 2003].



**Figura 7. Passos da metodologia proposta.**

Com a imagem pré-processada, no Passo IV, o algoritmo Canny [Canny 1986] foi utilizado para a detecção de bordas na imagem resultante do Passo III. O quinto passo con-

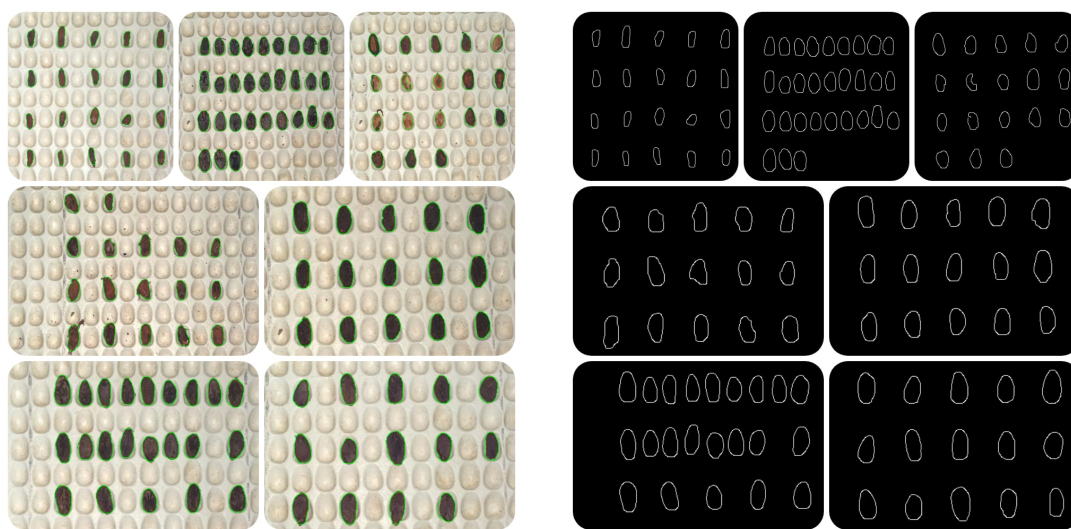
siste apenas em um acompanhamento visual do processamento, destacando as amêndoas da imagem original. De posse da imagem do Passo III (sem ruídos) e da imagem de entrada, o destaque das amêndoas é realizado (Passo V), e então o que não foi destacado como amêndoa (tábua de corte) torna-se branco (Passo VI). Assim, pode-se realizar a extração das amêndoas, uma a uma, e arquivos individuais são gerados. Esses arquivos podem ser então utilizados em qualquer processo para análise e classificação das amêndoas.

### 3.3. Implementação

A metodologia foi implementada em Python 3.5 [Python Software Foundation 2018], utilizando a biblioteca OpenCV 3.4.1 [OpenCV 2018] e o sistema operacional Manjaro GNU/Linux 64bits. A escolha do Python deve-se à rapidez na implementação.

## 4. Resultados

Na Figura 8(a) são exibidas parte das imagens de entrada onde estão localizadas as respectivas amêndoas. As amêndoas destas imagens estão com a borda gerada pela metodologia. Na Figura 8(b) estão as imagens de saída do passo IV da metodologia.



(a) As sete imagens de entrada com o contorno gerado pela metodologia proposta (achatada, ardósia, germinada, inseto, marrom, parcialmente marrom e violeta.)

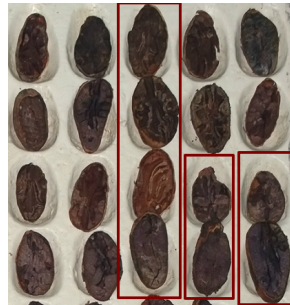
(b) Imagens resultantes da metodologia após o passo IV sobre as 7 imagens de entrada.

**Figura 8. Destaque das amêndoas (esquerda) realizado a partir das bordas detectadas pelo passo IV (direita)**

Na Figura 9 pode ser visto a aplicação do algoritmo para uma tábua de corte completamente preenchida (300 amêndoas). A partir do resultado, foram observadas duas situações: na primeira, amêndoas mofadas não foram completamente identificadas, devido a sua cor mais clara em alguns pontos, sendo confundida com a tábua de corte, e a segunda ocorre quando existem amêndoas sobrepostas, onde o algoritmo identifica e segmenta duas amêndoas como apenas uma.



**Figura 9. Resultado da metodologia para a imagem de toda a tábua de corte preenchida com amêndoas.**



**Figura 10. Problema da sobreposição de amêndoas na tábua de corte.**

## **5. Discussão**

Conforme discutido, o cacau é um fruto de vital importância para economia, principalmente por conta da produção do chocolate. A prova de corte para classificação das amêndoas, apesar de ser um procedimento trivial, envolve inúmeros cuidados para atestar a qualidade da amêndoa.

Este texto apresentou uma metodologia para a segmentação de amêndoas em tábuas de corte. Este processo será parte de um procedimento maior que realizará, de forma automatizada, a análise da prova de corte, auxiliando o especialista na realização do teste e dando maior confiabilidade aos resultados.

Os resultados preliminares com a metodologia, apontaram dois problemas: a sobreposição de amêndoas e a segmentação de amêndoas mofadas.

A sobreposição de amêndoas pode ser resolvido com avaliação em duas etapas, onde na primeira, as amêndoas seriam dispostas de forma que, na mesma fileira, exista um espaço vazio entre uma amêndoa e outra, e na fileira seguinte, as posições seriam invertidas. Assim seriam reduzidos as chances de sobreposição. Uma outra forma de se resolver a sobreposição, é o devido tratamento pelo algoritmo. Alternativamente, pode-se desenvolver uma tábua de corte onde o espaçamento seja maior entre as amêndoas.

A questão das amêndoas mofadas pode ser resolvido com uma mudança de cor da tábua de corte, de forma que as amêndoas se destaquem do fundo.

Apesar dos problemas identificados, solucioná-los através de uma modificação



física é trivial. Dessa forma, a metodologia mostra-se promissora para o que se propõe. Espera-se assim estar contribuindo para o desenvolvimento de uma ferramenta que poderá ser utilizada mediante um telefone celular, sem equipamento de alto custo.

## 6. Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, pretende-se identificar atributos sobre as amêndoas que permitam classificá-las de acordo com os nove tipos destacados neste texto. Esses atributos serão então utilizados em um processo de classificação das amêndoas que permitirá, posteriormente, calcular a porcentagem de cada categoria e qualificar o lote de acordo com as normas vigentes.

## Referências

- Anuário Brasileiro do Cacau (2016). Anuário brasileiro do cacau 2016. Editora Gazeta.
- Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 8(6):679–698.
- CAOBISCO/ECA/FCC (2015). Cocoa beans industry quality requirements. Technical Report 2015. [Online; acessado em 19-maio-17].
- CEPLAC (2011). Melhoria da qualidade do cacau. Technical Report 2011. [Online; acessado em 19-maio-17].
- Cruz, J. F. M. (2012). Caracterização das sementes de variedades à vassoura de bruxa durante a fermentação e após a secagem. Master's thesis, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA.
- Dougherty, E. R. and Lotufo, R. A. (2003). *Hands-on morphological image processing*, volume 59. SPIE press.
- Efraim, P., Pezoa-García, N. H., Jardim, D. C. P., Nishikawa, A., Haddad, R., and Eberlin, M. N. (2010). Influência da fermentação e secagem de amêndoas de cacau no teor de compostos fenólicos e na aceitação sensorial. In *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. SciELO Analytics.
- Feitosa, R. (2016). Avaliação microscópica de características internas em amêndoas de cacau.
- Ferreira, A. C. R., Ahnert, D., de Melo Neto, B. A., and Mello, D. L. N. (2013). Guia de beneficiamento de cacau de qualidade. Instituto Cabruca.
- OpenCV (2018). Open source computer vision library. <https://opencv.org>. Online; acessado 18 de Junho de 2018.
- Python Software Foundation (2018). Python 3.5.5 documentation. <https://docs.python.org/3.5/>. Online; acessado 18 de Junho de 2018.
- Silva, A. R. d. A. et al. (2013). Caracterização de amêndoas e chocolate de diferentes variedades de cacau visando a melhoria da qualidade tecnológica.