

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

Prabhát K. de Oliveira¹, Patrick S. Ferraz¹, Marta Magda Dornelles²

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

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

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

Abstract. *The cut proof is a visual and olfactory inspection performed on 300 lengthwise chopped almonds, randomly chosen from a batch of cocoa beans, arranged individually on a board. The final result of this analysis qualifies the batch of cocoa, indicating, for example, if it can be used for the manufacture of gourmet cocoa. This paper presents a methodology for the segmentation of cocoa beans in cutting boards using the concepts of image processing. Segmented almonds may be used in subsequent classification and qualification process. The methodology was implemented and tested showing itself promising.*

Resumo. *A prova de corte é uma inspeção visual e olfativa realizada sobre 300 amêndoas cortadas longitudinalmente, escolhidas ao acaso em um lote de amêndoas de cacau, dispostas individualmente em uma tábua. O resultado final desta análise qualifica o lote de cacau, indicando, por exemplo, se o mesmo pode ser usado para a fabricação de cacau gourmet. Neste artigo é apresentada uma metodologia para segmentação de amêndoas de cacau em tábuas de corte utilizando os conceitos de processamento de imagens. As amêndoas segmentadas poderão ser utilizadas em um processo posterior de classificação e qualificação. A metodologia foi implementada e testada mostrando-se promissora.*

1. Introdução

O cacau é uma palavra que deriva do termo *Kakaw*, de origem maia. Não se sabe ao certo quem foram os primeiros povos a cultivar o fruto, embora histórias apontem para os Astecas, no México, e os Maias, na América Central. De acordo com historiados, o cacauzeiro, chamado de *cacahualt*, era considerado sagrado e muitas vezes seu cultivo era acompanhado de solenes cerimônias religiosas, por conta disso o botânico sueco Carlos Linneo denominou a planta de *Theobroma cacao*, que significa "manjar dos deuses", provavelmente, inspirado em toda a simbologia que envolvia o cultivo do cacau [CEPLAC 2018].

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, em que sua qualidade pode ser sentida ao mordê-lo 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 disposta 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 - caracterizada por seu tamanho pequeno e, geralmente, a amêndoas é seca.

Amêndoas tipo ardósia - possui cor purpúrea (cinza-enverdeado) e geralmente é chapaada, sem compartimentação. Não possui sabor característico de chocolate sendo normalmente muito adstringente.

Amêndoas albina - caracterizada por apresentar uma cor marmorizada, próxima de branca.

Amêndoas tipo germinada - apresentam a casca furada pelo desenvolvimento do embrião.

Amêndoas tipo inseto/brocada - característica de amêndoas estocadas em local infestado de insetos. Seu interior apresenta-se carcomido pela ação dos insetos.

Amêndoas tipo marrom - possui cor marrom escura . Normalmente é proveniente de cacau bem fermentado.

Amêndoas mofada - caracterizada por mofo.

Amêndoas tipo parcialmente marrom - 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.

Amêndoas tipo violeta - parte interna da amêndoas 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 amêndoas na tábua de corte estabelece a qualidade do lote, de acordo com os tipos 1, 2, 3 e sem tipo. Quando a amêndoas 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 amêndoas.

2.2. Trabalhos correlatos

Muitos trabalhos relacionados ao cacau 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.

Não foi encontrada nenhuma pesquisa que se assemelhasse ao projeto em que este trabalho está inserido.

2.3. OpenCV

O OpenCV (Open Source Computer Vision) é uma biblioteca de código aberto e multiplataforma desenvolvida inicialmente pela Intel, utilizada para visão computacional, processamento de imagem, aprendizagem de máquina e operações em tempo real com aceleração de GPU. É liberada sob uma licença de BSD e foi escolhida devido a grande presença em uso acadêmico e comercial. Embora tenha sido inicialmente desenvolvida em C/C++, também oferece suporte para utilização nas linguagens Java, Python e sistemas operacionais Windows, Mac OS, iOS e Android [Passarelli 2017].

3. Metodologia proposta para segmentação das amêndoas

Após estudos e experimentos realizados com alguns algoritmos de segmentação, é proposta uma metodologia para extrair amêndoas de uma tábua de corte. Esta metodologia foi dividida em passos como apresentado na Figura 3.

O primeiro passo pega a imagem de entrada, que é colorida, e a converte para níveis de cinza. Esta conversão foi realizada pela função cv2.cvtColor do pacote OpenCV. No passo II, a imagem em nível de cinza é binarizada, usando um threshold com limiar de 127.

No terceiro passo foi necessário a remoção de ruídos que interferem no próximo

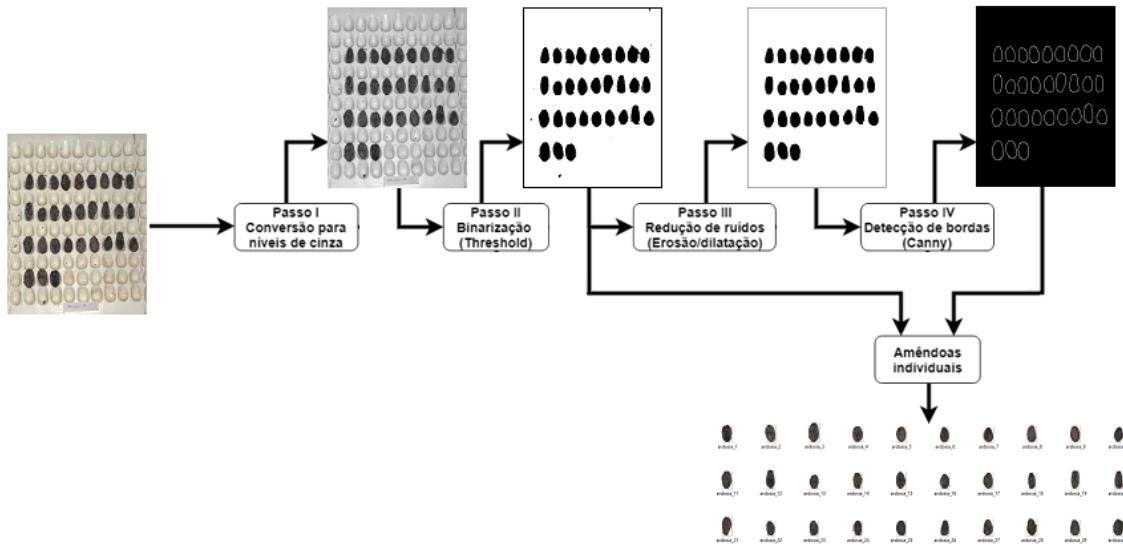


Figura 3. Passos da metodologia proposta.

passo: detecção de bordas. Esta remoção ocorreu com a utilização dos operadores morfológicos de erosão e dilatação [Dougherty and Lotufo 2003].

No passo IV, o algoritmo Canny [Canny 1986] foi utilizado para a detecção de bordas na imagem resultante do passo três.

De posse da imagem do passo IV e da imagem do passo III, as amêndoas são extraídas, uma a uma, e arquivos individuais são gerados. Esses arquivos podem ser então utilizados em qualquer processo para análise e classificação das amêndoas.

4. Testes

4.1. 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 Debian GNU/Linux 9 Stretch 64bits.

A escolha do Python deve-se à rapidez na implementação, mas já está em andamento uma implementação em C++. Posteriormente, uma versão para Android será desenvolvida.

4.2. Imagens de entrada

Uma imagem de entrada é capturada por celular, com resolução de 3072x1728, no formato jpg. Dois exemplos são apresentados na Figura 4.

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 4.b) das seguintes classes cada uma: achatada, ardósia, parcialmente marrom, marrom, inseto, germinada e violeta.

5. Resultados

Na Figura 5(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.

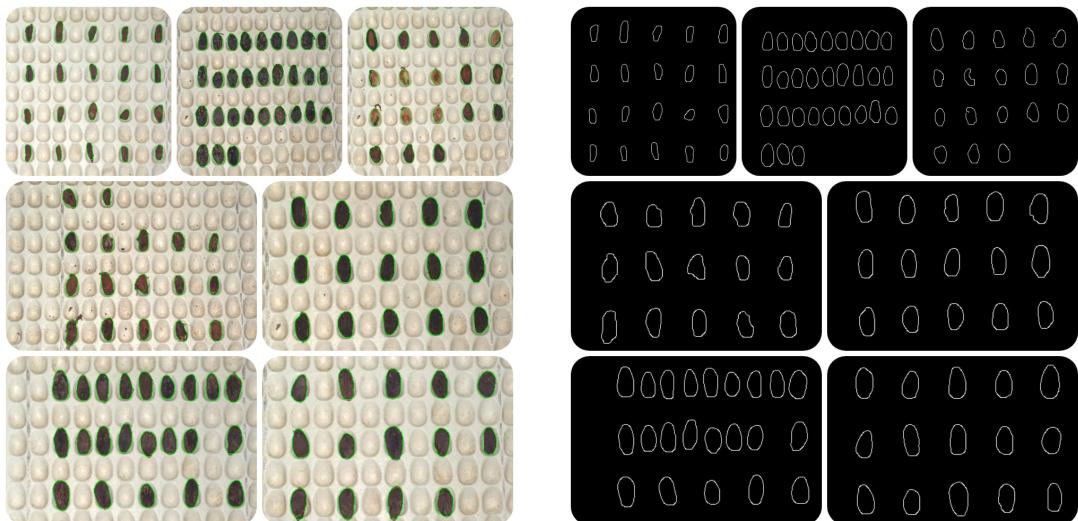


(a)

(b)

Figura 4. Exemplos de tábuas de corte capturadas com celular.

Na Figura 5(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 5. Aplicação do Canny Edge na classe achatada (esquerda) e do melhor caso nas demais classes (direita).

O resultado para a tábua de corte com todos os 300 orifícios preenchidos pode ser observada na Figura 6.

No resultado da tábua inteira observou-se duas situações. A primeira ocorre quando se tenta segmentar amêndoas sobrepostas (Figura 7). O algoritmo não consegue detectar a sobreposição. Duas amêndoas sobrepostas são segmentadas como uma só.

Algumas amêndoas mofadas não foram segmentadas em sua totalidade, isso se deve ao fato da sua cor, em alguns pontos, ser muito próxima do fundo.

6. 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



Figura 6. Resultado da metodologia para a imagem de toda a tábua de corte preenchida com amêndoas.

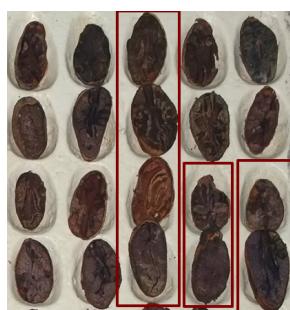


Figura 7. Problema da sobreposição de amêndoas na tábua de corte.

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 tâbuas de corte. Este processo será parte de um procedimento maior que realizará a prova de corte automática, auxiliando o especialista na realização do teste e dando maior confiabilidade ao resultado.

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

O problema da sobreposição pode ser resolvido de duas formas. A primeira é uma modificação física, alterando a tábua de corte, dando um espaçamento maior entre os orifícios aonde as amêndoas são postas, bem como aumentando a altura dos orifícios. A segunda é uma modificação algorítmica que envolve pesquisar uma maneira de aprimorar a metodologia para solucionar o problema.

A questão das amêndoas mofadas pode também ser resolvida de forma física. Pinta-se a tábua com uma cor que facilitará a segmentação: verde, por exemplo.

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.

7. Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, pretende-se identificar atributos sobre as amêndoas que permitem 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.
- CEPLAC (2018). Cacau: história e evolução. http://www.ceplac.gov.br/radar/radar_cacau.htm. Online; acessado 18 de Junho de 2018.
- 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.
- Passarelli, L. (2017). Aplicação de visão computacional com opencv. <https://www.embarcados.com.br/aplicacao-de-visao-computacional-com-opencv/>. 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.