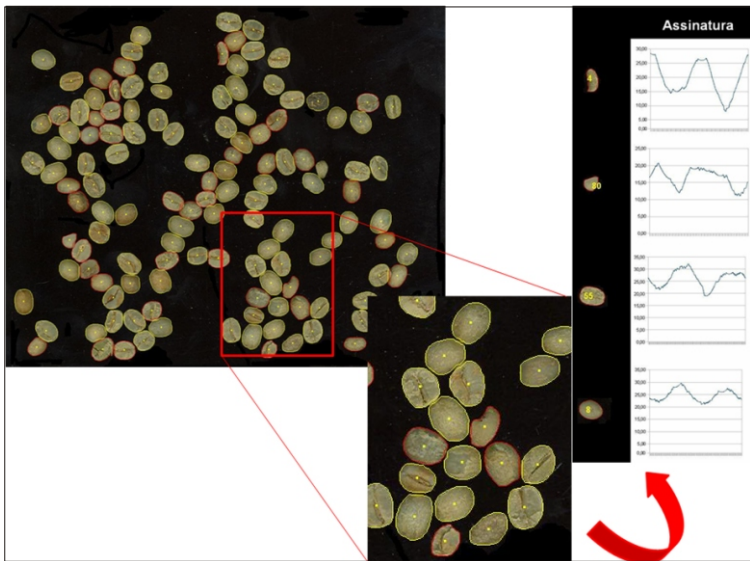


QualiCafé: seleção de características de qualidade por forma



ISSN 1678-0434

Novembro, 2008

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Instrumentação Agropecuária
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 25

**QualiCafé: seleção de características
de qualidade por forma**

Lúcio André de Castro Jorge
Gabriel Geraldo França Marcondes

Embrapa Instrumentação Agropecuária
São Carlos, SP
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação Agropecuária

Rua XV de Novembro, 1452
Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: (16) 2107 2800
Fax: (16) 2107 2902
<http://www.cnpdia.embrapa.br>
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso
Membros: Dra. Débora Marcondes Bastos Pereira Milori,
Dr. João de Mendonça Naime,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo
Valéria de Fátima Cardoso
Membro Suplente: Dr. Paulo Sérgio de Paula Herrmann Junior

Supervisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Tratamento de ilustrações: Valentim Monzane
Capa foto montagem: Lúcio André de Castro Jorge
Editoração eletrônica: Manoela Campos

1ª edição

1ª impressão (2008): tiragem 300

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.
Embrapa Instrumentação Agropecuária**

J82q Jorge, Lúcio André de Castro

Qualicafé: seleção de características de qualidade por forma. / Lúcio
André de Castro Jorge, Gabriel Geraldo França Marcondes. São Carlos:
Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008.

27 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Boletim de Pesquisa e
Desenvolvimento, ISSN 1678-0434; 25)

1. Pós-Colheita. 2. Sementes - Classificação. 3. Café - Qualidade.
4. Qualicafé. 5. Imagens - Processamento. I. Marcondes, Gabriel Geraldo
França. II. Título. III. Série.

CDD 21 ED 631.521
006

© Embrapa 2008

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
1. Introdução	7
2. Materiais e métodos	13
3. Resultados	15
Conclusões	25
Referências	26

QualiCafé: seleção de características de qualidade por forma

Lúcio André de Castro Jorge¹

Gabriel Geraldo França Marcondes²

Resumo

Foi desenvolvido na Embrapa Instrumentação Agropecuária o software para análise da qualidade de sementes SIAQS, visando determinar padrões de forma de sementes, aplicado principalmente às sementes de milho. Com o intuito de automatizar a classificação de grãos de café, de acordo com sua forma, a partir de imagens digitalizadas foi feita nova versão do sistema SIAQS.

A demanda está relacionada ao desenvolvimento de metodologia e técnicas avançadas, que permitam a avaliação rápida, exata e precisa de atributos físicos e fisiológicos de grãos de café. Neste caso, novas ferramentas para análise por forma dos grãos e para identificação de impurezas estão sendo desenvolvidas. Os resultados preliminares mostram excelente possibilidade de geração de uma máquina de classificação automática.

Termos para indexação: classificação de grãos, qualidade de café, imagens.

¹Eng. Eletrônico, MSc., Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, lucio@cnpdia.embrapa.br

²Eng. Computação, Graduando, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, gabrielgeraldo@gmail.com

QualiCafé: quality features selection by shape

Lúcio André de Castro Jorge¹

Gabriel Geraldo França Marcondes²

Abstract

It was developed at Embrapa Agricultural Instrumentation Center a special software for seed quality analysis SIAQS, to determine standards of seeds by shape. It was applied mainly to corn seeds. To design an automatic system to classify coffee grains, according to their shapes, from digitized images, it was developed a new version of SIAQS software. The suit is related the development of advanced methodologies and techniques, that allows the fast and accurate measurement of physical and physiological characteristics of coffee grains. In this case, new tools to analyse grains shape and identification of injuries are being developed. The preliminaries outcomes shows the excellent possibility to construct an automatic machine of classification.

Index terms: seed classification, coffee quality, image.

1. Introdução

A produção de café no mundo encontra-se distribuída em 54 países, sendo os mais expressivos, o Brasil e a Colômbia, que, juntos, representam 43% da produção mundial. A produção de cafés arábica é a mais expressiva no Brasil, Colômbia, México, Guatemala e Costa Rica. Em cafés robusta, destacam-se Costa do Marfim e Indonésia e, atualmente, o próprio Brasil (MATIELLO, 1996). Embora a participação brasileira nas exportações globais de café tenha diminuído decorrente da industrialização de outros produtos agrícolas, o café ainda apresenta expressiva contribuição para a receita cambial no país (ANDRADE, 1997; BARBOSA, 2000). O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, e o segundo mercado consumidor no mundo. No período de 1987/96 o Brasil teve o café como produto responsável por 1,85 bilhões de dólares da receita cambial, o que representou 5,16% das exportações do país (BARBOSA, 2000).

A espécie arábica, que pode ter diversos sabores e aromas de bebida dependendo do *blend*, tem o maior índice de exportação no país. As exportações de café arábica em junho de 2000 foram de 5,1 milhões de sacas (uma saca = 60 kg), sendo que no ano de 1999 as exportações totalizaram 17 milhões de sacas, o que representa 30% do total mundial. Junto a isso, de acordo com a Organização Internacional do Café (OIC), os principais países importadores registraram um forte aumento de consumo desde 1999. EUA e Alemanha, grandes clientes do café brasileiro, registraram aumentos de 3% e 7%, respectivamente no consumo de café a partir de 1999. Por esses fatores a qualidade e produtividade do café brasileiro devem merecer mais atenção. Várias tecnologias de cultivo vêm sendo utilizadas pelos cafeicultores, visando a melhoria da produção do café. No entanto, é importante ressaltar a qualidade do produto final a ser consumido, quanto ao seu sabor e aroma, visando a não desvalorização do produto, decorrente de um café de baixa qualidade. Portanto, cafés finos são frutos de constantes e eficientes cuidados tanto no cultivo como no beneficiamento (ANDRADE, 1997).

A qualidade do café brasileiro, principalmente com relação à bebida, constitui um dos problemas básicos com que se defronta a cafeicultura nacional. Até 1960, o Brasil era responsável por 70% do mercado cafeeiro mundial e atualmente esta participação caiu para 30% do café comercializado mundialmente (CARVALHO e CHALFOUN, 1985). O consumo interno per capita do café também tem decrescido em função de sua qualidade inferior e pelo surgimento de uma consciência, entre os consumidores brasileiros, de não se sujeitarem em adquirir o resíduo da exportação.

Portanto, a apresentação de um produto de boa qualidade é essencial para a comercialização do café nos mercados interno e externo, sendo resultado dos cuidados dispensados desde a colheita até a torração. Nesse processo, o preço está diretamente relacionado à qualidade do produto. Como consequência, a classificação qualitativa assume relevância importante em sua comercialização.

Existe uma tendência de crescimento do consumo de cafés diferenciados, determinada seja pela qualidade da bebida (cafés gourmets) ou pelo processo de produção (aromatizados, descafeinados, expresso entre outros). A definição "cafés diferenciados" costuma envolver tanto parâmetros de qualidade da bebida, quase sempre relacionados a variedades, origens, tratamentos culturais e pós-colheita, como as condições em que os grãos foram produzidos. Isso significa que a qualidade do café está associada a características tangíveis, como propriedades físicas e sensoriais, e intangíveis representadas por qualquer atributo que diferencie o produto diante do consumidor, como as condições tecnológicas, ambientais e sociais da produção dos grãos de café (SEBRÆE, 2001).

O Governo do Estado de São Paulo, através da Secretaria de Agricultura e Abastecimento, criou, pela Lei 10.481, de 29/12/1999, o Selo de Qualidade “Produto de São Paulo”, como parte do Sistema de Qualidade de Produtos do Agronegócio.

O objetivo das Normas Técnicas adotadas no Sistema de Qualidade é fixar a identidade e as características mínimas de qualidade a que deve obedecer o Café Torrado em Grão e o Café Torrado e Moído. A indicação desses padrões é orientativa, uma vez que o que deve interessar é que o produto final se enquadre nos intervalos de Qualidade Global de cada categoria. O sistema vai certificar produtos que possuam qualidade superior diferenciada, através do controle de todo o processo produtivo, dentro do princípio conhecido como “da semente ao prato”.

A criação do Sistema de Qualidade, prevê a adoção de um padrão de qualidade mínima para o café brasileiro e a melhoria da qualidade como um fator de extrema importância para maior participação do Brasil no mercado externo quanto interno. Os principais objetivos são: atender melhor o consumidor; aumentar a competitividade do agronegócio e, principalmente aumentar a renda do produtor e do agroindustrial. Além disso, o Sistema de Qualidade enfoca a avaliação da qualidade global e dos atributos de qualidade do café em grão e café torrado e/ou moído, dando assistência tecnológica ao setor produtivo, ao varejo supermercadista e ao comércio de café na gastronomia, com foco na melhoria contínua da qualidade dos produtos e na satisfação dos consumidores (SEBRAE, 2001).

A qualidade do café é avaliada segundo critérios bem estabelecidos, sendo função de inúmeras variáveis, como a variedade de plantada, as formas de cultivo, a colheita e o preparo do produto na fazenda, o beneficiamento e a classificação, forma de industrialização, e de sua preparação (ILLY e VIANI, 1995).

A qualidade do café não é somente determinada por características físicas e químicas do grão, mas também por fatores de pré-colheita, colheita e pós-colheita, que também interferem na qualidade do café (MATIELLO, 1996). São vários os fatores que afetam e comprometem a qualidade do café desde a colheita até o armazenamento. Dentre os que mais se destacam, por afetarem diretamente o aroma e o sabor da bebida são: presença de grãos verdes, temperaturas inadequadas de secagem e condições adversas de armazenamento, fatores que podem levar à ocorrência de fermentação dos grãos (CARVALHO e CHALFOUN, 1985).

As alterações indesejáveis nas características químicas e bioquímicas dos grãos de café são causadas por muitos fatores tais como: fermentações por microorganismos; manejo inadequado desde a colheita até o processamento; e condições climáticas adversas como temperatura e umidade relativa elevadas. Além desses fatores, sabe-se que a presença de grãos verdes deprecia o sabor e o aroma da bebida (BARTHOLO e GUIMARÃES, 1989).

O café é uma bebida que admite uma infinidade de sabores e aromas. Conhecer os fatores que influenciam a bebida é uma arte que estimula tanto os próprios produtores quanto os melhores degustadores de café. Para o degustador e preparador de café é importantíssimo conhecer e saber distinguir e identificar: as características físicas dos grãos, como granulometria do pó e cor de acordo com o ponto de torra e as características sensoriais da bebida: fragrância, aroma,

defeitos, acidez, amargor, sabor, sabor residual, corpo, adstringência e qualidade global. A qualidade global da bebida do café, é a percepção conjunta dos aromas e sabores característicos do café, do equilíbrio entre a doçura e o amargor, da harmonia da bebida, do corpo, enfim se traduzindo numa sensação agradável durante e após a degustação. A saber:

FRAGRÂNCIA: é a percepção olfativa do pó de café torrado e moído. A intensidade da fragrância revela o frescor da amostra.

AROMA: é a percepção olfativa da bebida do café inalando os vapores que exalam da bebida ainda quente, e, por via nasal durante sua degustação. Para o café de torração clara, o aroma pode lembrar ao odor de nozes, amêndoas, castanhas frescas e cereal, malte, pão torrado. Para o café de torração média clara pode lembrar ao odor de caramelo, para o café de torração média pode lembrar ao odor de chocolate. Para o café de torração escura pode lembrar ao odor de resina, remédio, especiarias, queimado e cinzas.

DEFEITOS: odor e sabor de terra, mofo, batata crua, rançoso, borracha, tabaco queimado, madeira, azedo (vinagre), fermentado, conferidos pelos grãos defeituosos como ardido, preto, verde e impurezas como terra, areia, paus e cascas. Café de excelente qualidade é aquele isento de defeitos.

ACIDEZ: propriedade sensorial de substâncias como ácidos clorogênico, cítrico, málico e tartárico que produzem gosto ácido. Percebido nos lados posteriores da língua. É característico de café Arábica particularmente de variedades cultivadas em altitude alta. Quando é natural e desejável é chamado de ácido e quando natural e indesejável é chamado de azedo.

AMARGOR: propriedade sensorial de substâncias como cafeína, trigonelina, ácidos cafeico e químico e outros compostos fenólicos que produzem o gosto amargo. É percebido no fundo da língua. Este gosto no café é considerado desejável até certo ponto. É afetado pelo grau de torração e pelo método de preparo da bebida. Quanto mais escuro, mais amargo é o café. Quanto mais fino e portanto, demorado o processo de extração mais acentuado o amargor.

SABOR: é a combinação das sensações de gosto doce, salgado, amargo e ácido com os aromas de chocolate ou caramelo ou cereal torrado formando o sabor característico desejável. Quando apresenta sabores estranhos (sabor a terra, herbáceo, especiaria, queimado) é considerado indesejável.

SABOR RESIDUAL: é a sensação percebida após a ingestão da bebida. O sabor residual é desejável quando deixa um sabor que lembra ao chocolate e indesejável quando lembra ao cigarro queimado, resina, químico, madeira ou outro sabor estranho.

CORPO (Aftertaste): é a sensação tátil de oleosidade e de viscosidade na boca. Encorpado significa que a bebida é forte e concentrada e não rala, produzindo uma sensação de gosto prolongado e agradável na boca.

ADSTRINGÊNCIA: é a sensação de secura na boca deixada após a sua ingestão.

QUALIDADE GLOBAL: é a percepção conjunta dos aromas da bebida e de seu grau de intensidade, sendo que quanto mais aromático, melhor a qualidade do café; dos sabores característicos do café; de um amargor típico mas não o resultante da excessiva torra do grão (ou carbonização); da presença não preponderante do gosto dos grãos defeituosos (verdes escuros, pretos, ardidos) ou de sua inexistência, para o caso dos cafés gourmet; da inexistência do gosto característico de grãos fermentados, podres ou preto-verdes; do equilíbrio e da harmonia da bebida, tudo se traduzindo numa sensação agradável durante e após a degustação.

O café é classificado pelo tipo físico dos grãos e pelo sabor, aroma da bebida. As bebidas padrões e suas características são:

- Estritamente mole: sabor suavíssimo e adocicado;
- Mole: sabor suave, agradável e adocicado;
- Dura: áspero e adstringente (sensação de secura na boca);
- Riado: sabor ligeiramente químico, que lembra ao iodo;
- Rio: sabor forte e desagradável, lembra sabor de bebida riada;
- Rio Zona: apresenta o forte gosto químico das bebidas riada e rio, aproximando-se ao sabor de remédio, sabor e odor intoleráveis (DENAC, 2001).

Dentro desses padrões de sabores, o café é classificado em três principais categorias de qualidade descritas a seguir.

Cafés Gourmets: São constituídos de café 100% arábica de origem única ou blendados, de bebida apenas mole ou estritamente mole e que atendam aos requisitos de qualidade global resultando em um café muito bom a excelente, sendo encorpado, com baixa acidez, amargor típico, sabor equilibrado e limpo, e com ausência total de qualquer sabor residual e adstringência.

Cafés Gourmet, são produtos que possuem somente atributos de qualidade positivos, elevado valor agregado e, necessariamente, Qualidade Global da Bebida do Café superior a 7,6 pontos, na escala sensorial de 0 a 10 pontos (qualidade Muito Boa a Excelente).

Como nos melhores vinhos, no café gourmet as características de aroma, sabor e corpo acentuado (*aftertaste*) fazem a diferença entre as melhores bebidas.

Cafés Superiores: São aqueles constituídos de cafés arábica blendados com café robusta (*conillon*), estes com limite de até 15% no *blend*, desde que limpos, com bebida que varia de dura a mole e que são classificados como razoavelmente bons a bons seguindo os critérios de qualidade global, apresentando sabor e aroma característico, acidez e amargor moderados, sabor residual moderado devido à presença de *conillon* e razoavelmente encorpado.

Café Superior deve possuir uma Qualidade Global da Bebida (QG) compreendida no intervalo maior ou igual a 6,51 pontos e menor ou igual a 7,6 pontos, na escala sensorial de 0 a 10 pontos, avaliada segundo prova de xícara por grupo de provadores treinados e calibrados, correspondendo a produtos de qualidade razoável a aceitável.

Cafés Tradicionais: São constituídos de cafés arábica e/ou blendados de *conillon*, estes com limite de até 30% no *blend*, desde que limpos, com bebida mole a rio e que atendam aos requisitos de qualidade global da bebida. São considerados cafés regulares e ligeiramente bons, com aroma fraco, acidez baixa, amargor que pode variar de fraco a intenso. O Café Tradicional deve apresentar uma QG compreendida no intervalo maior ou igual a 6,5 e menor ou igual a 3,5 pontos, na escala sensorial.

O setor tem buscado incessantemente soluções que visem ganhos na melhoria da produtividade e qualidade, sendo as mais eficientes as que dominam o mercado. A problemática atual reside na falta de metodologia rápida, exata e precisa dos atributos dos grãos, notadamente físicos e fisiológicos, que permitam a tomada de decisões seguras, em período de tempo compatível com o processo produtivo (BEWLEY e BLACK, 1994).

A problemática atual reside na falta de metodologias rápidas, exatas e precisas para a determinação dos atributos das sementes, notadamente os fisiológicos, que permitam a tomada de decisões seguras, em período de tempo compatível com o processo produtivo.

Vários testes para avaliação dos atributos físicos e fisiológicos de um lote de sementes são relatados e descritos por Krzyzanowski (1994), Marcos Filho (1995) e Vieira e Carvalho (1994). O mesmo se aplica aos grãos de café.

A análise de pureza tem como objetivo determinar a composição do lote de sementes; a identidade das diferentes espécies de sementes que compõe o lote e a natureza do material inerte presente na amostra (BRASIL, 1992).

O princípio da análise de pureza é a separação manual com auxílio de lupas da amostra de trabalho em sementes puras, outras sementes e material inerte. A semente pura e o material inerte são indicados em porcentagem por peso e as outras sementes em número por peso da amostra de trabalho (BRASIL, 1992). Considera-se como sementes puras todas as sementes pertencentes a espécie em exame, identificadas como predominante na amostra, devendo serem incluídas as variedades e/ou cultivares da espécie. Além das sementes inteiras, maduras e não danificadas, devem ser incluídas as sementes inteiras de tamanho inferior ao normal, enrugadas, imaturas, danificadas e fragmentos de sementes maiores que a metade de seu tamanho original. No grupo de outras sementes, devem ser incluídas todas as sementes de qualquer espécie cultivada ou silvestre não pertencentes a espécie em questão. Como material inerte, considera-se fragmentos de sementes de qualquer espécie menor que a metade de seu tamanho original ou fortemente atacadas por pragas e moléstias que impossibilitem sua identificação, partículas de solo, fragmentos orgânicos ou qualquer outro material que não seja semente (BRASIL, 1992).

A análise de pureza em lotes de soja ou milho é um procedimento moroso e dependente da interpretação do analista, portanto, conclui-se que a forma de tornar a rotina de análise rápida e minimizar os erros de interpretação, seria o desenvolvimento de instrumento de identificação das dimensões, formas e coloração das sementes capaz de ser reproduzido a partir de um modelo repetitivo e de fácil manuseio. O mesmo ocorre no café.

O advento do computador em um único circuito integrado, no ano de 1971, iniciou uma revolução tecnológica que, atualmente, aloca os dispositivos eletrônicos microprocessados em praticamente todas as atividades humanas.

A função principal da análise de imagens digitais é fornecer ferramentas para facilitar a identificação e extração de informações contidas nas imagens para posterior interpretação. Neste sentido, sistemas de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação de imagens. O resultado é a produção de relatórios contendo informações específicas, extraídas a partir das imagens.

Jain (1989) dividiu as técnicas de análise por imagem em duas partes:

- o processamento com objetivo de facilitar a interpretação humana, para melhor visualização da imagem, realçando detalhes importantes;
- o estabelecimento e classificação de padrões, onde são extraídas da imagem informações mais convenientes para interpretação automática.

Os sistemas de processamento de imagens digitais representam a busca do Homem em automatizar o sentido da visão. Para a aquisição das imagens, foram desenvolvidos equipamentos baseados em sensores (CCD) que permitem a transformação do sinal luminoso em sinal elétrico, a exemplo das células nervosas sensíveis à intensidade e ao comprimento de onda da luz e presentes no olho. Para o processamento das imagens foram desenvolvidos sistemas de informática baseados no princípio de armazenamento de dados e comparação de padrões, a exemplo do sistema computacional SIARCS 3.0®.

É também função principal do processamento de imagens digitais fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração de informações contidas nas imagens, para posterior interpretação. Para tanto, sistemas de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação de imagens, notadamente, com relação à forma, cor e textura dos objetos que compõe a imagem. Com relação à cor, dentre os vários sistemas empregados, destaca-se o HSB, no qual, H varia entre 0 e 360° e representa as cores azul, amarelo, verde e vermelho, entre outras. O índice S, representa a saturação de luz da cor e varia entre 0 (preto) e 100%. Já o índice B, que representa a saturação de branco da cor, também variando entre 0 (preto) e 100% (branco).

A classificação digital procura eliminar os erros do processo e tornar possível a repetitividade e a precisão do mesmo. Outro ponto a ser destacado, é a obtenção de um produto diretamente na forma digital o que é interessante na alimentação de outros sistemas de análise.

O grande problema da classificação é que ela representa demasiada simplificação em relação à grande complexidade das situações possíveis, notadamente, no que diz respeito a seres biologicamente vivos. Esta demasiada simplificação induz a erros de exatidão.

O sistema computacional deve ser treinado, ou seja, devemos definir critérios pelos quais o sistema reconhecerá as informações. O resultado do treinamento é um conjunto de assinaturas ou procedimento, que são critérios estatísticos para um conjunto de classes propostas.

Em recente levantamento realizado junto a empresas produtoras de sementes de diversas espécies e licenciadas pela Embrapa para produção de sementes de milho e de sorgo, foi constatada a insatisfação, por parte dos produtores, com os testes disponíveis para avaliação da qualidade física e fisiológica das sementes. Quando demonstrado ao grupo o software SIAQS para determinação das dimensões de sementes de milho, foi unânime a necessidade de métodos associados à informática e automação, para avaliação da qualidade das sementes.

A demanda está relacionada ao desenvolvimento de uma nova versão, a avaliação e a adaptação do software SIAQS, bem como de metodologia e técnicas avançadas, que permitam a avaliação rápida, exata e precisa de atributos físicos e fisiológicos de grãos de café. Neste caso, novas ferramentas para análise por cor para os grãos e de identificação de impurezas para atualização do SIAQS estão sendo desenvolvidas.

2. Materiais e Métodos

O principal método de desenvolvimento foi uma adaptação e extensão da metodologia do software SIAQS, para determinar os padrões de forma de grãos de café em imagens digitalizadas. Os testes foram efetuados em grãos de café da COOXUPÉ.

Várias alternativas foram estudadas para se escolher quais características da imagem de um grão seriam úteis para a análise.

Após testes com diferentes dados e técnicas momentos invariantes, ângulos de curvatura, *roundness*, razões entre eixos e área optou-se pela análise dos coeficientes da transformada discreta de Fourier do sinal da borda do grão. Estes dados alimentariam uma rede neural supervisionada com padrões que posteriormente serviriam de parâmetro de avaliação.

Extração de Características

Ângulo de Curvatura

Através de cálculos geométricos relativamente simples, pode-se chegar ao ângulo de curvatura sobre um ponto em uma linha.

Assim seria possível medir o quão um grão tem de pontos muitos curvos e, ajustando-se parâmetros de limiar, definir sua classificação.

Roundness

O *roundness* é uma razão entre área e perímetro de uma forma, e diz respeito ao quão arredondada é uma forma. Seu valor é mínimo e igual a 1 para um círculo perfeito. Também é chamado de *compactness*.

Uma forma com “reentrâncias” como se espera de um grão quebrado apresentaria um perímetro um pouco maior, e uma área um pouco menor, e esta diferença causaria uma alteração no *roundness* que poderia ser usada para classificar a forma.

Transformada de Fourier

A Transformada de Fourier¹ é uma ferramenta matemática poderosa, que transforma um sinal real, contínuo ou discreto, em uma função periódica, também contínua ou discreta. No caso em questão, o sinal original discreto é a borda do grão, e a partir dele obtivemos a transformada de Fourier discreta. Qualquer função no domínio real pode ser expressa como um somatório de senos (ou cossenos), possibilitando novos modos de se analisar o sinal.

¹TRANSFORMADA de Fourier. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Transformada_de_Fourier>. Acesso em: dez. 2008.

O ponto explorado nestes dados é o fato de que uma forma com mais reentrâncias apresente coeficientes consideráveis em frequências mais altas, que são as responsáveis por variações mais abruptas no sinal de uma forma. As frequências menores estariam relacionadas à forma mais básica do grão.

Extração de Padrões

Redes Neurais Supervisionadas

Uma Rede Neural é uma modelagem computacional do modo de pensar humano. Ela consiste de um conjunto de neurônios, que se adaptam no processo de aprendizado de acordo com os dados de entrada.

Existem dois tipos de redes neurais: as supervisionadas e as não-supervisionadas. As não supervisionadas, que não foram utilizadas neste projeto, tentam por si só encontrar padrões nos dados apresentados.

Já as redes supervisionadas têm, no seu processo de aprendizado, a presença de um agente professor, que juntamente com os dados apresenta à rede o resultado esperado. A rede então se utiliza de métodos de minimização de erros, em busca de uma função que melhor se adapte às entradas e as saídas esperadas. Assim, ela obtém “pesos” que serão aplicados sobre novos dados para sua classificação.

A intenção ao utilizar uma RNS é apresentar a ela dados no caso desenvolvido, coeficientes de Fourier de exemplos de grãos normais e quebrados, em busca de padrões para a classificação automatizada.

Pacotes de Software

Shared Scientific Toolbox

Para a obtenção dos coeficientes de Fourier, foi utilizado o pacote SST (*Shared Scientific Toolbox*²). O SST é uma coleção de funções para uso científico e foi desenvolvido por Roy Liu, estudante da Universidade da Califórnia (Estados Unidos).

O SST traz uma implementação da *Fast Fourier Transform*, um algoritmo otimizado voltado a processamento de imagens, para obtenção da transformada de Fourier discreta.

O pacote está licenciado sob a licença livre GPL (*General Public License*), da Fundação GNU³.

Weka

A Weka é um pacote de tratamento estatístico de dados, desenvolvido pela Universidade de Waikato (Nova Zelândia), e também é licenciada sob a GPL⁴.

Deste pacote foi utilizado o modelo *Multilayer Perceptron* de rede neural supervisionada.

²SHARED Scientific Toolbox. Disponível em: <<http://hubris.ucsd.edu/sstj>>. Acesso em: dez. 2008.

³GNU Foundation. Disponível em: <<http://www.gnu.org>>. Acesso em: dez. 2008.

⁴WEKA. Disponível em: <<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>>. Acesso em: dez. 2008.

Desenvolvimento

As diferentes características extraídas da forma dos grãos foram estudadas, em busca da mais relevante, a que mais facilitasse a distinção entre um grão normal e um grão quebrado. A escolha feita foi pelos coeficientes de Fourier do sinal da borda.

Com isso em mãos foram implementados os novos algoritmos de classificação dos grãos e avaliação de qualidade. O desenvolvimento deu-se na linguagem Java, com o NetBeans como plataforma de desenvolvimento e a biblioteca JAI (Java Advanced Imaging) para a manipulação básica das imagens, já utilizada desde o SIAQS. Ao programa deu-se o nome "Análise de Bordas", cuja versão atual é a 0.2.

Após a conclusão dos estudos e do desenvolvimento das novas técnicas, o programa foi integrado ao software QualiCafé, objetivo principal do projeto.

Para cuidar da integridade do código, possibilitar que vários desenvolvedores trabalhassem ao mesmo tempo, e facilitar seu acesso no laboratório e pelo orientador, foi instalado um servidor do controlador de versionamento de código Subversion, utilizado também por outros desenvolvedores.

3. Resultados

A seguir são apresentados os resultados obtidos a partir da análise de cada característica extraída.

Análise do Ângulo de Curvatura

Como já referido, o ângulo em questão trata-se de uma medida de ângulo entre vetores.

Para se chegar a tais ângulos, primeiro calcula-se o vetor que liga o ponto em questão a um k-ésimo sucessor (vetor $v(n)$), e também a um k-ésimo antecessor (vetor $w(n)$), temos o ângulo dado por (CESAR JÚNIOR e COSTA, 2001):

$$r(n) = \frac{v(n) \cdot w(n)}{\|v(n)\| \cdot \|w(n)\|}$$

Uma vez calculada a seqüência de curvaturas, também foi calculada uma seqüência de diferenças entre elas, como uma "derivada".

Foram então definidos três parâmetros de avaliação para cada grão:

Ângulo Mínimo: ângulo limiar, abaixo do qual o ponto em questão é considerado como parte de uma curva acentuada;

Varição Máxima: máxima diferença entre os ângulos em dois pontos consecutivos, acima da qual o ponto também é considerado como parte de uma curvatura acentuada;

Tolerância: a quantidade relativa de pontos de alta curvatura a partir da qual a borda do grão será considerada de forma "estranha".

As Figuras de 1 a 7 apresentam grãos quebrados com a borda em vermelho, e os grãos normais com a borda em amarelo, de acordo com a classificação obtida com diferentes conjuntos de parâmetros.



Fig. 1. Tolerância 16, Ângulo Mínimo 50, Variação Máxima 50

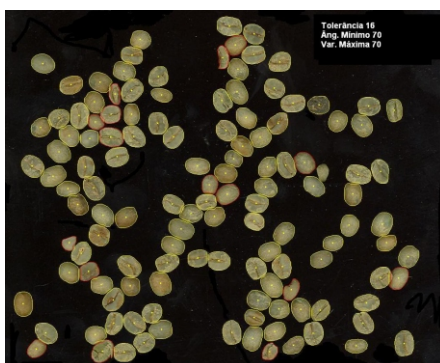


Fig. 2. Tolerância 16, Ângulo Mínimo 70, Variação Máxima 70

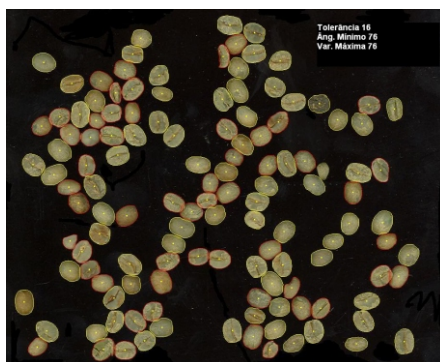


Fig. 3. Tolerância 16, Ângulo Mínimo 76, Variação Máxima 76

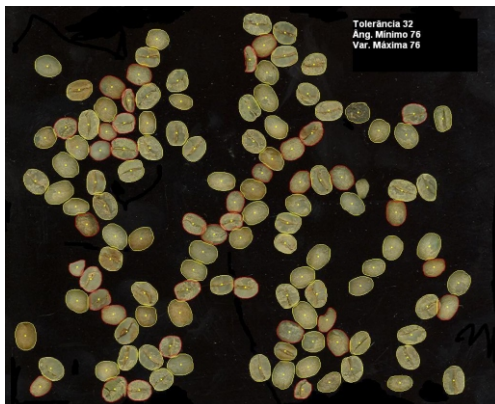


Fig. 4. Tolerância 32, Ângulo Mínimo 76, Variação Máxima 76



Fig. 5. Tolerância 40, Ângulo Mínimo 76, Variação Máxima 76

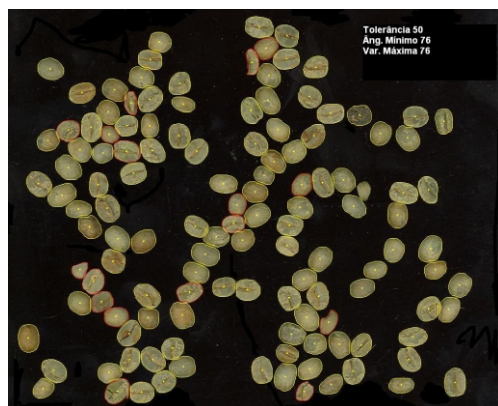


Fig. 6. Tolerância 50, Ângulo Mínimo 76, Variação Máxima 76

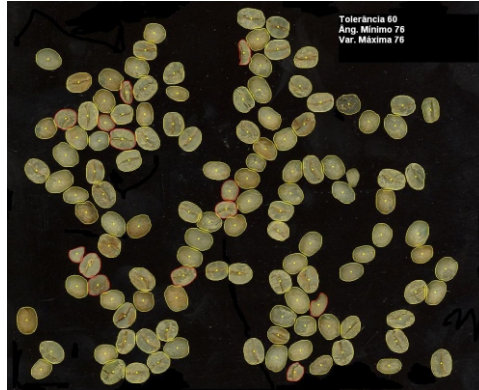


Fig. 7. Tolerância 60, Ângulo Mínimo 76, Variação Máxima 76

Análise do Roundness

O *roundness* é calculado como (CESAR JÚNIOR e COSTA, 2001):

$$R = \frac{\text{perímetro}^2}{4 \cdot \pi \cdot \text{área}}$$

O *roundness* não foi analisado isoladamente. Pelo contrário, foi inserido como uma alternativa junto com a análise da curvatura. Experimentalmente, foi decidido o intervalo de 0,8 a 1 como o intervalo ideal para o *roundness* de um grão. A partir disto, a classificação foi feita como um “ou”: o grão é dito quebrado caso seu *roundness* fique fora desse intervalo, OU seja considerado quebrado pela mesma análise de curvatura anterior.

As imagens das Figuras 8 a 14, mostram os resultados obtidos com grãos quebrados em borda vermelha e grãos normais em borda amarela.

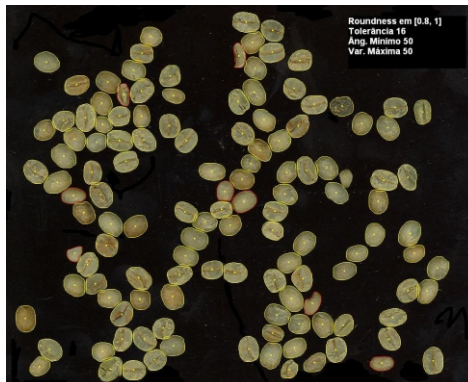


Fig. 8. Roundness em [0.8, 1], Tolerância 16, Ângulo Mínimo 50, Variação Máxima 50

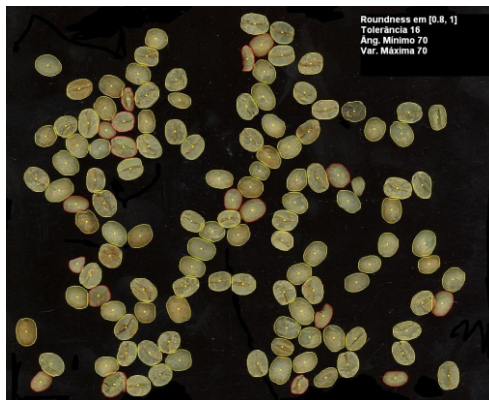


Fig. 9. Roundness em [0.8, 1], Tolerância 16, Ângulo Mínimo 70, Variação Máxima 70

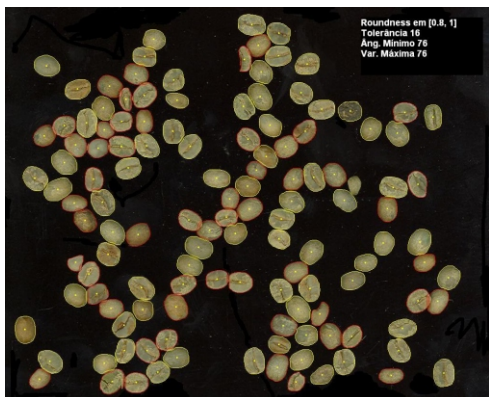


Fig. 10. Roundness em [0.8, 1], Tolerância 16, Ângulo Mínimo 76, Variação Máxima 76

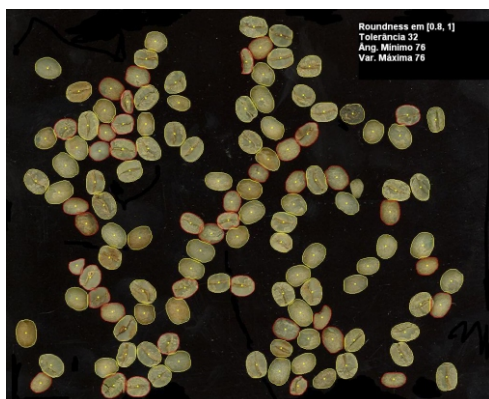


Fig. 11. Roundness em [0.8, 1], Tolerância 32, Ângulo Mínimo 76, Variação Máxima 76

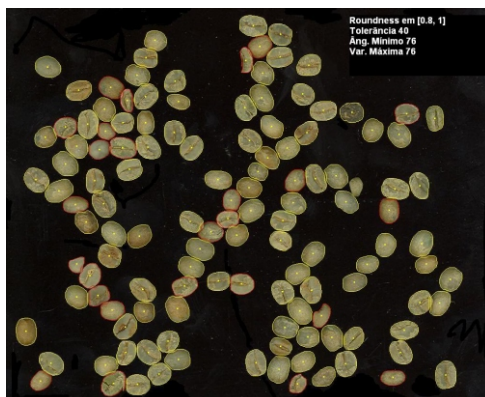


Fig. 12. Roundness em [0.8, 1], Tolerância 40, Ângulo Mínimo 76, Variação Máxima 76

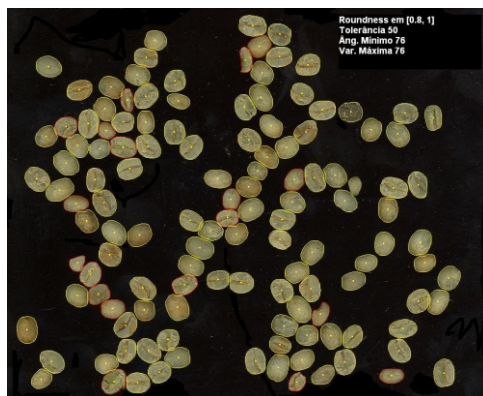


Fig. 13. Roundness em [0.8, 1], Tolerância 50, Ângulo Mínimo 76, Variação Máxima 76

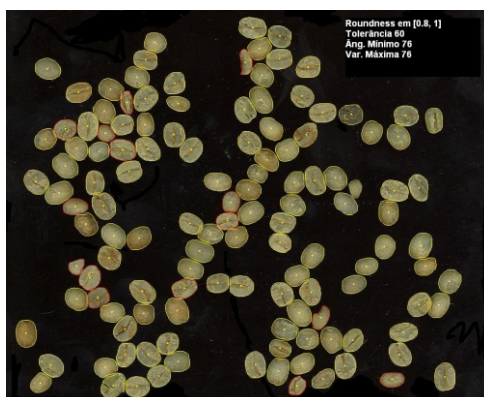


Fig. 14. Roundness em [0.8, 1], Tolerância 60, Ângulo Mínimo 76, Variação Máxima 76

Embora com resultados ligeiramente melhorados, a análise por curvatura e *roundness* não foi levada adiante. Um dos motivos é que a parametrização das análises é muito difícil posto que muitos dos dados (principalmente os valores de ângulos) tem variação muito abrupta problema causado pelos valores discretos dos dados. Com isso, a diferenciação entre grãos quebrados e normais, muito tênue na maioria dos casos, fica prejudicada, com uma classificação ou muito tolerante ou muito intolerante.

Análise dos Coeficientes de Fourier

A Transformada de Fourier para sinais discretos é dada por (CESAR JÚNIOR e COSTA, 2001):

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N}kn} \quad k = 0, \dots, N - 1$$

Desta transformação, obtemos uma lista de coeficientes que, multiplicados por determinadas funções periódicas, geram o mesmo sinal original.

Os detalhes deste cálculo não são cruciais para este estudo. A transformada nem mesmo foi implementada durante o projeto, tendo sido utilizada a implementação da biblioteca SST, já citada.

O sinal discreto em questão é o que chamamos assinatura de uma forma e trata-se da distância dos seus pontos ao centro de massa. Os exemplos apresentados nas Figuras 15 a 23, deixam clara a característica explorada.

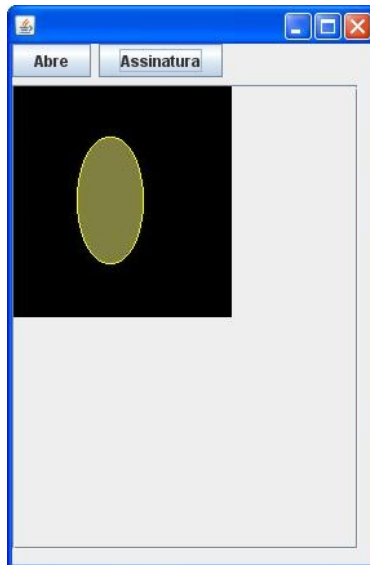


Fig. 15. Uma forma oval normal

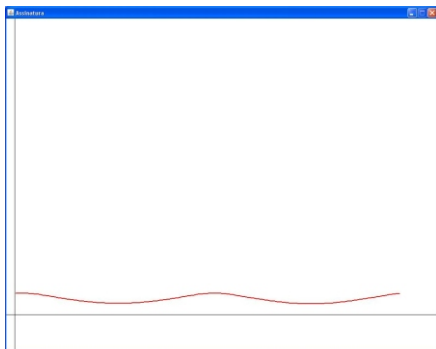


Fig. 16. Assinatura de uma forma oval normal

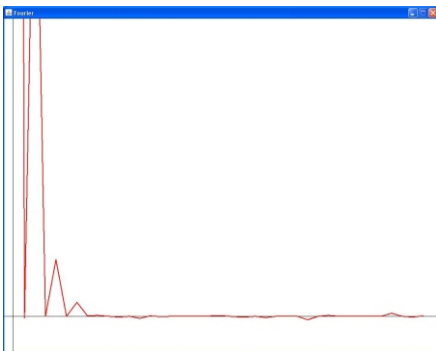


Fig. 17. Coeficientes de Fourier para uma forma oval normal

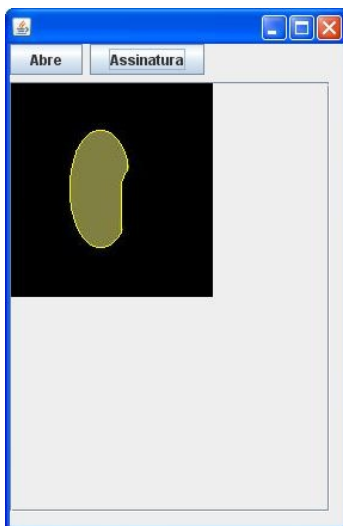


Fig. 18. Uma forma oval "lascada"

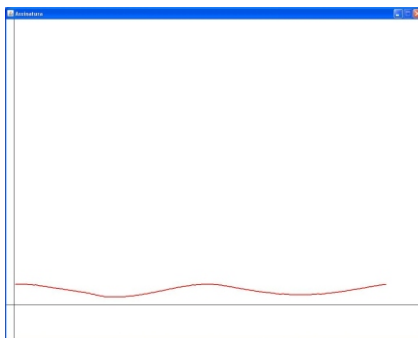


Fig. 19. Assinatura de um oval lascado

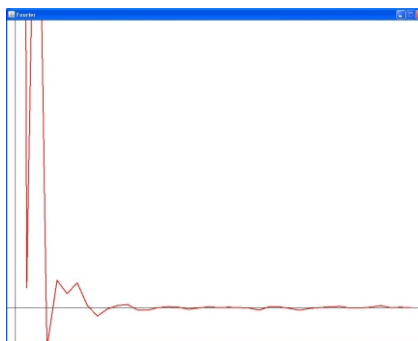


Fig. 20. Coeficientes de Fourier para um oval lascado

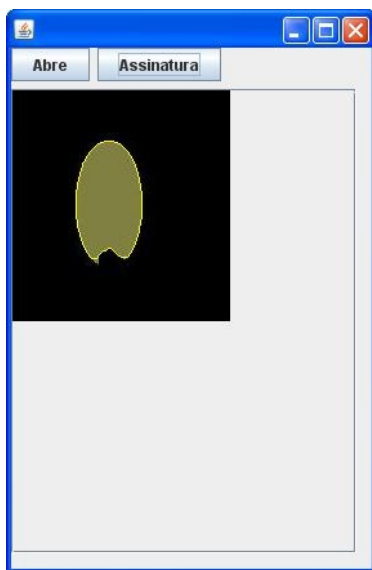


Fig. 21. Forma oval "quebrada"

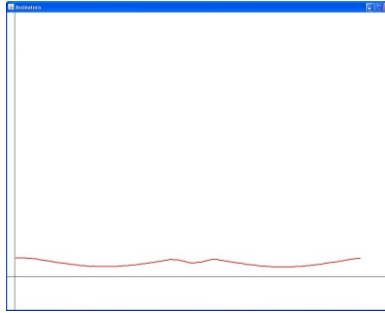


Fig. 22. Assinatura de uma oval quebrada

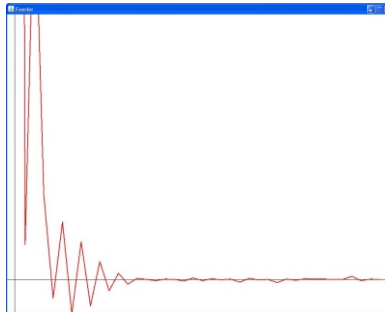


Fig. 23. Coeficientes de Fourier para uma oval quebrada

Pode-se notar que a assinatura por si só não diz muito sobre o que se quer analisar. Verifica-se, por exemplo, que um grão lascado tem praticamente a mesma assinatura que um grão normal; no grão quebrado apresentado na Figura 21, sua assinatura (Fig. 22) apresenta uma ligeira mudança, mas que poderia ter passado despercebido caso ela se encontrasse em outra região do gráfico.

Os coeficientes de Fourier acusam estas mudanças, independentemente de sua localização, com um aumento perceptível no módulo de alguns de seus coeficientes de frequência um pouco mais alta, como pode ser observado na Figura 24.

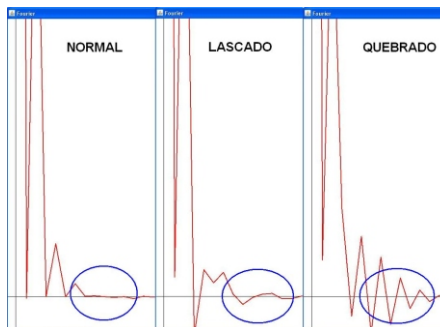


Fig. 24. Comparativo dos coeficientes de Fourier para os três grãos apresentados, com destaque para a região onde se evidencia a diferença entre eles.

A definição de um valor limiar para estes coeficientes seria possível, porém optou-se pelo uso de uma rede neural que pudesse extrair os padrões de classificação estatisticamente os mais relevantes, e eventualmente características determinantes que houvessem passado despercebidas por esta análise puramente visual.

Na prática, os resultados indicam que cuidados especiais precisam ser tomados: algoritmo de detecção de bordas, da classe JAI; grãos encostados lado a lado, dificultando a definição de qual é qual; prática em classificação de grãos. Porém, tais resultados foram, em geral, muito bons. Nas Figuras 25 e 26 são apresentadas as classificações obtidas nesta primeira etapa.



Fig. 25. Grãos classificados pela rede neural treinada através do programa desenvolvido, analisando os coeficientes de Fourier. Grãos normais estão com as bordas em amarelo, quebrados em vermelho.

TIPO	OCORRÊNCIAS	RELATIVO
NORMAL	95	73.6434108527131...
QUEBRADO	34	26.3565891472868...
TOTAL	129	100 %

Fig. 26. Dados sobre a classificação

No geral, observou-se que no estágio atual, acusa alguns 'falsos negativos', classificando grãos normais como quebrados. Este problema deve ser ajustado com a construção de um sistema completo de captura de imagens com condições controladas de luz.

Conclusão

Apesar da análise de curvatura e *roundness* combinados ter apresentado resultados satisfatórios e bastante promissores, a escolha pelos coeficientes de Fourier e rede neural combinados trouxe uma simplificação para o desenvolvimento e a capacidade de obtenção de resultados progressivamente melhores, dada que uma rede neural tem exatamente a função de aprender.

Os resultados poderão melhorar, ainda, com a continuação do projeto devido a várias novas características previstas, como a análise por cor. A combinação das duas imagens obtidas possibilitará uma melhor identificação das bordas dos grãos, com conseqüente obtenção de dados mais consistentes que diminuirão os erros de classificação.

A técnica estudada e adotada tem um grande potencial não apenas para a aplicação específica de que este projeto tratou, mas também para qualquer futura aplicação de análise de formas. Ou ainda além, dado que a transformada de Fourier pode ser aplicada a sinais quaisquer, sendo necessária apenas a obtenção de uma função para que a técnica seja aplicável. Isto incluiria sinais multidimensionais (enquanto este projeto trata apenas de sinais unidimensionais) relacionados a qualquer outra característica que não somente a forma: possivelmente cor, distribuição de massa, medidas de comprimento, largura e altura, respostas a diferentes estímulos.

O passo seguinte deste projeto é a integração entre as aplicações de análise de forma e de cor, para a criação da aplicação principal do projeto. Este passo já começou a ser implementado, e a aplicação final está em fase de testes, embora ainda existam mais características a serem incorporadas às partes.

Referências

- ANDRADE, J. G. **Recomendações básicas para produção de um café de qualidade**. Guaxupé: [S. n.], 1997.
- BARBOSA, A. **Journal Coffee Business**, [S. l.], v. 9, n. 465, p. 8-9, 2000.
- BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. G. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 162, p. 33-34, 1989.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2nd ed. New York: Plenum Press, 1994. p. 199-267.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 1992. 365 p.
- CARVALHO, V. D.; CHALFOUN, S. M. Aspectos qualitativos do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 79-92, 1985.
- CESAR JUNIOR, R. M.; COSTA, L. da F. **Shape Analysis and Classification: Theory and Practice**. Boca Raton: CRC Press, 2001. v. 1. 659 p.
- DENAC - DEPARTAMENTO NACIONAL DE CAFÉ. **Norma Técnica para fixação de identidade e qualidade de café torrado em grão e café torrado e moído**. Resolução SSA no 37, de 09.11.2001, do Secretário de Agricultura e Abastecimento DOE SP, 2001. [S. l., 2001].
- ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso coffee: the chemistry of quality**. San Diego: Academic Press, 1995. 253 p.
- JAIN, A. K. **Fundamentals of Digital Image Processing**. [S. l.]: Prentice-Hall, 1989. p. 377-384.
- KRZYZANOWSKI, C. F. Relato de testes de vigor disponíveis para as grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 59-61, 1994.
- MARCOS FILHO, J. Utilização de testes de vigor em programas de controle de qualidade de sementes. **Informativo ABRATES**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 59-61, 1995.

MATIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo**. Rio de Janeiro: Ed. Globo, 1996. 320 p.

SEBRAE. **Diagnóstico de Cafés Especiais e Qualidade superior do ESTADO DE MINAS GERAIS**. [S. l.], jun. 2001.

VIEIRA, D. R.; CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164 p.

MATIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo**. Rio de Janeiro: Ed. Globo, 1996. 320 p.

SEBRAE. **Diagnóstico de Cafés Especiais e Qualidade superior do ESTADO DE MINAS GERAIS**. [S. l.], jun. 2001.

VIEIRA, D. R.; CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164 p.



Embrapa Instrumentação Agropecuária

**Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

