

Reconhecimento de cédulas monetárias para portadores de deficiência visual em dispositivos móveis

Andrews do Amaral MELO¹; Felipe Gomes de OLIVEIRA¹

¹Universidade Federal do Amazonas – UFAM

andrewsamara1@gmail.com; felipe.inad@gmail.com

Resumo

As formas de reconhecimento das cédulas monetárias brasileiras para deficientes visuais, oferecidas pelo Banco Central, estão longe de ser uma técnica confiável e segura. Devido a grande circulação, as cédulas estão expostas diariamente a alterações em seu estado original, o que acaba comprometendo a identificação de quem precisa utilizar essa estratégia para identificar o seu valor, como os portadores de deficiência visual. Este projeto consiste na utilização de técnicas de Visão Computacional e Estatísticas Bayesianas para o reconhecimento de cédulas monetárias brasileiras (Nova família do Real) com o intuito de auxiliar os portadores de deficiência visual. A tarefa de reconhecimento da cédula está dividida em três etapas principais: aquisição da imagem da cédula; pré-processamento da imagem e o reconhecimento da cédula. Na primeira etapa as imagens serão capturadas de modo a representar o ambiente real de funcionamento do sistema. No Pré-processamento serão aplicadas técnicas para melhorar e realçar as características contidas na imagem. Além de extrair as regiões da imagem que mais se assemelham com as características dos dígitos expressos nas notas. A técnica que promove a tomada de decisão sobre o valor contido na cédula é baseada na estimação *bayesiana*, que calcula a probabilidade de cada hipótese, considerando os dados contidos na imagem, e faz estimações de acordo com elas. A experimentação demonstrou a efetividade e robustez da abordagem proposta, alcançando 99,26% de acerto, considerando uma base de 4000 imagens.

Palavras-chaves: Estatística Bayesiana; Sistemas Móveis, Visão Computacional.

Abstract

The strategies to recognition of Brazilian monetary bank notes for visually impaired, offered by the Central Bank, are far from being a reliable and safe technique. Due to the large rotativity, the bank notes are exposed daily to changes in their original state, which can compromise the identification of those who need to use this strategy to identify its value, as the visually impaired. This project involves the use of Computer Vision techniques and Bayesian Statistics to recognition Brazilian bank notes (New Real Family) in order to assist the visually impaired. The ballot recognition task is divided into three main stages: acquisition of ballot image, image pre-processing and recognition of the ballot. In the first step the images will be captured to represent the actual operating environment of the system. The pre-processing techniques are applied to improve and enhance the features contained in the image. In addition to extract image regions that most closely resemble the characteristics of digits expressed in bank notes. The technique that promotes decision making on the value contained in the ballot is based on Bayesian estimation, which calculates the probability of each hypothesis, given the data contained in your image, and make estimates in accordance with them. The experiment process demonstrated the effectiveness and robustness of the proposed approach, achieving 99.26% accuracy, taking into account a set containing 4000 images.

Key-words: Bayesian Statistics; Mobile Systems, Computer Vision.

Introdução

No Brasil a forma mais comum de pagamento é através das cédulas monetárias. Essa forma de pagamento é manuseada por qualquer pessoa, inclusive pelos deficientes visuais (Campos e Machado 2009; Banco Central do Brasil 2012). Pesquisas realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE mostraram que 35,7 milhões de brasileiros apresentam alguma deficiência visual e aproximadamente 528 mil são totalmente cegos, o que acaba dificultando, para eles, o reconhecimento da cédula monetária (IBGE-CENSO 2010). O Banco Central, responsável pela fabricação das notas, disponibiliza algumas estratégias para facilitar o reconhecimento da cédula pelos deficientes visuais (Banco Central do Brasil 2012). Dentre as estratégias destacam-se as marcas táteis, pois são as únicas características contidas nas duas famílias de cédulas do Real em circulação. Considerando a estratégia de reconhecimento, marca tátil, é importante enfatizar que essa técnica de reconhecimento não é totalmente viável, devido ao desgaste que as cédulas sofrem por estarem em intensa circulação, comprometendo assim o reconhecimento de quem precisa utilizar essa técnica (Takeda e Nishikage 2000; Aoba *et al.* 2003; Ahmadi *et al.* 2004; Choia *et al.* 2006; Reel *et al.* 2008).

Nesse contexto, seria interessante a utilização de ferramentas computacionais para auxiliar os deficientes visuais no reconhecimento das cédulas monetárias. Permitindo a interação entre eles (deficientes visuais) com uma aplicação que apresente alto nível de precisão nas análises das cédulas.

Considerando as necessidades especiais dos usuários, foi proposta uma abordagem baseada em Visão Computacional capaz de reconhecer as cédulas monetárias brasileiras visando o uso em dispositivos móveis. Com isso, eles (deficientes visuais) adquiririam

mais autonomia, confiança e proporcionaria uma maior independência nessa atividade tão presente no cotidiano.

É importante mencionar que este trabalho não tem como objetivo detectar cédulas falsas, mas identificar o valor monetário das mesmas.

Objetivo Geral

Propor uma abordagem baseada em Visão Computacional para o reconhecimento de cédulas monetárias brasileiras para portadores de deficiência visual visando o uso em dispositivos móveis.

Objetivos Específicos

- ✓ Realizar levantamento bibliográfico das principais técnicas relacionadas com o reconhecimento de cédulas;
- ✓ Realizar levantamento bibliográfico dos possíveis dispositivos e selecionar dispositivo para o desenvolvimento da aplicação;
- ✓ Montar *setup* para realização da captura de imagens;
- ✓ Implementar a abordagem proposta em computador pessoal, para prova de conceito;
- ✓ Simular a abordagem proposta em ambiente computacional;
- ✓ Realizar um estudo de viabilidade para sua implantação em dispositivos móveis;
- ✓ Montar protótipo experimental para obtenção de resultados reais;
- ✓ Avaliar os resultados obtidos através da abordagem proposta;
- ✓ Escrita de artigos científicos para apresentar à comunidade acadêmica os resultados alcançados na pesquisa.

Material e Métodos

O processo experimental conduzido na presente pesquisa considera os seguintes equipamentos:

- Celular LG E300, câmera com 2.0 *megapixels*, resolução de 640x480 e sem *flash*;
- Celular Samsung GT S3650 *Corby*, câmera com 2.0 *megapixels*, resolução de 640x480 e sem *flash*;
- Celular Samsung *Galaxy ACE*, câmera com 5.0 *megapixels*, resolução 640x480 e com *flash*;
- Celular Samsung *Galaxy Grand Duos*, câmera com 8.0 *megapixels*, resolução 640x480 e com *flash*;
- Celular Samsung *Galaxy Note 2*, câmera com 8.0 *megapixels*, resolução 640x480 e com *flash*;
- *Notebook* Sony Vaio, com processador *Intel I5* (2.40 GHz) e 4 GB de memória RAM.

Para o desenvolvimento do algoritmo responsável por reconhecer as cédulas monetárias brasileiras foram utilizados os seguintes *softwares*:

- Sistema Operacional *Windows 7 Ultimate* para processadores de 64 bits;
- *Matrix Laboratory* – MATLAB 2010 (*Toolbox* de Processamento de Imagens).

Os equipamentos e *softwares* citados acima apresentam participação efetiva na construção da abordagem proposta. Através das câmeras dos celulares foram capturadas as imagens das cédulas que compõem a base de testes para a experimentação. No

computador apresentado foram criados e executados os algoritmos desenvolvidos. Dentre os *softwares* utilizados, o *Windows* é responsável pela interação e gerenciamento dos recursos do computador, além de permitir o funcionamento do *Matlab*. O *Matlab*, por sua vez, é um ambiente de computação numérico com ferramentas para uma grande quantidade de aplicações, com destaque no processamento de imagens.

As cédulas monetárias brasileiras apresentam características únicas, como símbolos, cores e formas variadas. Cada nota apresenta um conjunto de dígitos que corresponde ao seu respectivo valor monetário. O reconhecimento de cédulas monetárias baseia-se no casamento das formas representadas por esses dígitos com seus respectivos padrões, previamente conhecidos (Faceli *et al.* 2011).

A metodologia para o reconhecimento das cédulas está dividida em três etapas principais, como ilustrado na Figura 1. As etapas são:

1. Aquisição da imagem da cédula;
2. Pré-Processamento da imagem;
3. Reconhecimento da cédula.

Na Figura 1 são definidas as etapas que compõem a metodologia proposta para a resolução da problemática discutida na presente pesquisa.

1. Aquisição da Imagem da cédula

O esquema básico para capturar imagens de cédulas pode se dar através de uma câmera contida em um dispositivo móvel posicionado acima da cédula a ser reconhecida, de modo a adquirir imagens que serão processadas, retornando assim o valor da cédula.

A captura da imagem para o reconhecimento deverá ser realizada respeitando o campo de visão do aparelho. A câmera deverá ser posicionada mantendo-se uma distância de aproximadamente 10 cm entre a cédula e o dispositivo, sugerimos uma região próxima ao meio do antebraço como ponto de referência para a correta posição do dispositivo de aquisição da imagem, como pode ser observado na Figura 2.

Na Figura 2 é apresentada uma sugestão para o processo de captura de imagens, considerando uma distância mensurável e suficiente para uma imagem com boa definição.

Após a captura da imagem, a mesma será convertida em uma matriz, onde cada posição da matriz equivalerá a um elemento da imagem com sua respectiva representação de luminosidade (Gonzalez e Woods 2000).

Com isso a imagem da cédula monetária brasileira é temporariamente armazenada para a execução do reconhecimento, tendo como exemplos de imagens capturadas as imagens contidas na Tabela 1.

Na Tabela 1 são apresentadas algumas imagens capturadas em cenários e condições de iluminação variados.

As cédulas utilizadas para compor a base de imagens para os experimentos pertencem à 2ª geração da família do Real. Sendo importante ressaltar que, atualmente apenas as cédulas de 10, 20, 50 e 100 reais encontram-se em circulação. Por esse motivo, as cédulas de 2 e 5 reais não compõem a base de imagens para testes.

2. Pré-processamento da imagem

Esta etapa consiste no realce de características, eliminação de ruídos presentes na imagem (Filho e Neto 1999), extração de regiões e casamento de padrões (Pedrini e Schwartz 2008). Para isso a mesma foi subdividida em procedimentos menores que são:

2.1. Conversão das imagens

As imagens coloridas capturadas são convertidas para outro modelo de representação de cor, denominado escala de cinza. Tal conversão visa à manipulação de cada informação de luminosidade representada pelas células da matriz, ou *pixels* (Pedrini e Schwartz 2008).

2.2. Binarização das imagens

A Binarização consiste em converter imagens em escala de cinza para imagens binárias. Uma forma tradicional de binarizar uma imagem consiste em transformar *os pixels* cujos tons de cinza são maiores que certo limiar **L** em brancos e os demais em pretos. Tal estratégia é denominada Binarização Global ou Limiarização Global (Gonzalez e Woods 2000).

Contudo as características encontradas no estudo da aplicação proposta evidenciaram a inviabilidade do uso da Binarização Global, tendo em vista a grande quantidade de intensidades de cor contida nas imagens. Quando a imagem a ser binarizada apresenta uma intensa variedade de tons de cinza o particionamento da mesma em dois tons (preto e branco) usando um único limiar não segmenta as informações contidas na imagem com precisão.

Por esse motivo a Binarização Local foi adotada como técnica de separação de elementos da imagem. Uma vez que, a Binarização Local consiste em transformar os

pixels, contidos em pequenas regiões, cujos tons de cinza são maiores que certo limiar local L em brancos e os demais em pretos. Isto é, a conversão considera a busca por limiares em pequenas janelas e posteriormente converte o pixel com base nos elementos próximos a ele (Bernsen 1986; Trier e Jain 1995).

Para esta pesquisa duas técnicas de binarização local foram combinadas. O primeiro método (Bernsen 1986), encontra o limiar para cada *pixel* (x,y) como no cálculo da Equação 1.

$$T(x, y) = \frac{Z_{min} + Z_{max}}{2} \quad (1)$$

Onde Z_{min} e Z_{max} são valores de níveis de cinza mínimo e máximo em uma vizinhança de $n \times n$ *pixels* centrada em (x,y) . A segunda técnica de binarização local utilizada neste trabalho utiliza a média dos valores de intensidade em uma vizinhança local da imagem como medida para calcular o limiar local (Trier e Jain 1995), como pode ser observado na Equação 2.

$$T(x, y) = média_v(x, y) \quad (2)$$

Em que v é uma vizinhança local ao ponto centrado na coordenada (x,y) .

A combinação das duas técnicas de limiarização local, citadas acima, faz-se necessária, pois o uso dessas técnicas isoladamente não é suficiente para reconhecer todas as cédulas do conjunto de imagens. Onde foi possível observar que, a primeira técnica identifica um subconjunto do total das cédulas e a segunda técnica identifica a outra porção das cédulas da base. Dessa forma, a combinação destas estratégias agrega maior confiabilidade à etapa de realce das principais características das imagens das cédulas.

2.3. Extração de Regiões

Considerando que a imagem está binarizada é conduzida a extração de regiões candidatas. Que consiste em selecionar regiões que apresentem áreas correspondentes às áreas dos dígitos de referência encontrados nas cédulas monetárias brasileiras. Dessa forma são descartadas as regiões que não apresentam correspondência quanto à forma da região. Ou seja, são descartadas regiões muito pequenas e regiões muito grandes, restringindo assim a amostra de regiões a ser comparada com a base de padrões de dígitos já conhecida (Guerra 2008). Como resultado deste processo, as regiões são definidas como fortes candidatas ao casamento com os dígitos de referência.

2.4. Casamento de Padrões

Esta etapa consiste em comparar as regiões selecionadas com as máscaras ou padrões dos dígitos presentes nas cédulas monetárias brasileiras. A máscara binária é a representação por meio de imagem de um dígito de uma nota.

O casamento de padrões visa apontar a similaridade entre as regiões a serem verificadas e os dígitos de referência, de modo a viabilizar a identificação do valor da nota processada (Gonzalez e Woods 2000). Na Figura 3 são mostrados os padrões ou máscaras binárias contidas nas imagens das cédulas brasileiras.

Na Figura 3 são apresentadas as máscaras binárias dos dígitos: zero, um, dois e cinco. Pois os mesmos estão presentes em todas as cédulas.

3. Reconhecimento da cédula

O processo de decisão do algoritmo baseia-se em um método estatístico bastante consolidado na literatura, a Estatística Bayesiana. A estatística bayesiana calcula a probabilidade de cada hipótese, considerando os dados, e faz previsões de acordo com eles (Faceli *et al.* 2011). Isto é, a partir de probabilidades *a priori* estima as probabilidades *a posteriori*, como nas Equações 1 e 2.

$$P(W_i|X) = \frac{P(X|W_i).P(W_i)}{P(X)}, \quad (3)$$

Onde

$$P(X) = \sum_{i=1}^4 P(X | W_i). P(W_i) \quad (4)$$

Nas Equações 1 e 2, $P(W_i)$ e $P(X)$ são as probabilidades *a priori*, consideradas a partir das informações conhecidas na imagem. Enquanto $P(W_i|X)$ e $P(X|W_i)$ representam as probabilidades *a posteriori*, permitindo inferir eventos com base nas hipóteses conhecidas (Faceli *et al.* 2011).

Na abordagem proposta do Teorema de *Bayes* são consideradas as seguintes hipóteses:

- W_1 é a hipótese de a região em análise corresponder ao valor 0;
- W_2 é a hipótese de a região em análise corresponder ao valor 1;
- W_3 é a hipótese de a região em análise corresponder ao valor 2;
- W_4 é a hipótese de a região em análise corresponder ao valor 5;

Sendo $P(W_1)$ definida como a razão entre D_1 / D_{TOTAL1} , $P(W_2)$ definida como a razão entre D_2 / D_{TOTAL2} , $P(W_3)$ definida como a razão entre D_3 / D_{TOTAL3} , e $P(W_4)$ definida como a razão entre D_4 / D_{TOTAL4} . D_1 corresponde à quantidade de pixels brancos que encontram correspondente na região da máscara binária do dígito 0, D_2 corresponde à

quantidade de pixels brancos que encontram correspondente na região da máscara binária do dígito 1, D_3 corresponde à quantidade de pixels brancos que encontram correspondente na região da máscara binária do dígito 2 e D_4 corresponde à quantidade de pixels brancos que encontram correspondente na região da máscara binária do dígito 5. D_{TOTAL1} equivale à soma de todos os pixels brancos da máscara binária do dígito 0, D_{TOTAL2} equivale à soma de todos os pixels brancos da máscara binária do dígito 1, D_{TOTAL3} equivale à soma de todos os pixels brancos da máscara binária do dígito 2 e D_{TOTAL4} equivale à soma de todos os pixels brancos da máscara binária do dígito 5. Dessa forma $P(W_i)$ representa a proporção de correspondência entre a região em teste e a máscara binária verificada, isto é, a proporção de equivalência entre região teste e máscara binária.

$P(X_1)$ é representada pela razão N_1/N_{TOTAL1} , $P(X_2)$ é representada pela razão N_2/N_{TOTAL2} , $P(X_3)$ é representada pela razão N_3/N_{TOTAL3} e $P(X_4)$ é representada pela razão N_4/N_{TOTAL4} . N_1 representa a quantidade de pixels que não apresentam correspondentes na máscara binária do dígito 0, N_2 representa a quantidade de pixels que não apresentam correspondentes na máscara binária do dígito 1, N_3 representa a quantidade de pixels que não apresentam correspondentes na máscara binária do dígito 2, N_4 representa a quantidade de pixels que não apresentam correspondentes na máscara binária do dígito 5. N_{TOTAL1} define a quantidade de elementos da máscara binária do dígito 0, N_{TOTAL2} define a quantidade de elementos da máscara binária do dígito 1, N_{TOTAL3} define a quantidade de elementos da máscara binária do dígito 2 e N_{TOTAL4} define a quantidade de elementos da máscara binária do dígito 5. Isto é, $P(X_i)$ equivale a proporção de elementos com casamento incorreto entre região teste e região da máscara binária.

Dessa forma, o problema consiste em determinar $P(W_i/X)$, ou seja, consiste em avaliar se a região em teste corresponde à alguma região do conjunto de dígitos das máscaras. Partindo do conhecimento, *a priori*, sobre o nível de não correspondência entre as regiões.

Resultados

Esse trabalho consiste no reconhecimento de cédulas, da nova família do real, do sistema monetário brasileiro. Para isso foi proposta uma abordagem baseada em Visão Computacional para processar as imagens capturadas por dispositivos móveis e obter, como resultado, o valor correspondente a cada cédula verificada. Na Figura 4 são evidenciadas imagens com os dígitos reconhecidos.

A Figura 4 ilustra cédulas com seus dígitos reconhecidos.

A experimentação conduzida nesse trabalho considera uma base de imagens de cédulas brasileiras, da 2ª geração da família do Real. A base para testes representa uma amostra considerando cédulas de 10, 20, 50 e 100 reais (em circulação), é importante destacar que as cédulas de 2 e 5 reais não compõem a base experimental por não se encontrarem atualmente em circulação.

O conjunto de imagens é constituído por 4000 imagens, com resolução 640x480, considerando diferentes cenários e condições de iluminação. A disposição da base de imagens pode ser melhor compreendida por meio da Tabela 2.

Na Tabela 2 são apresentadas as imagens que foram capturadas através das câmeras de dispositivos móveis, tais como celulares.

Dentre resultados a serem apresentados, são destacados os seguintes:

- Aquisição da base de imagens de cédulas monetárias, composta por 4000 imagens, garantindo a consistência estatística para validar os resultados obtidos pela abordagem proposta;

- Após a execução da ferramenta de reconhecimento de cédulas para o conjunto de 4000 imagens, foi possível obter o conjunto resposta evidenciado na Tabela 3. Na Tabela 3 são apresentados os índices de acerto para cada cédula da 2ª família do real (10, 20, 50 e 100 reais).
- Como fator favorável, destaca-se a complexidade computacional do algoritmo desenvolvido. Sendo totalmente viável para implantação em dispositivos móveis. Uma vez que, apresenta o custo computacional $O(n^2)$.
- Ainda como resultado deste trabalho, foram submetidos 3 artigos para as conferências:
 - IEEE Winter Application Computer Vision – WACV 2014;
 - (Qualis B1 CAPES).
 - International Conference on Computer Vision Theory and Applications - VISAPP 2014;
 - (Qualis B3 CAPES).
 - Image and Vision Computing New Zealand – IVCNZ 2013.
 - (Qualis B4 CAPES).

Na próxima seção, Discussões, serão apresentadas: uma contextualização sobre a problemática abordada, uma análise comparativa entre alguns trabalhos correlatos e uma explanação mais detalhada dos resultados obtidos.

Discussão

Considerando os resultados obtidos e ilustrados na Tabela 3. Devem ser feitas algumas considerações sobre a problemática atacada na presente pesquisa.

O processo de captura de imagens considera cenários reais do cotidiano, onde uma pessoa utilizaria o aplicativo para determinar o valor de uma cédula. Dessa forma, a imagem capta além da cédula monitorada, diversas outras informações visuais pertinentes à cena a qual está inserida. Tornando o processo de identificação dos dígitos das cédulas uma tarefa ainda mais complexa.

Na literatura (Bertanha *et al.* 2013; Lopes *et al.* 2013) também propõem abordagens para o reconhecimento de cédulas monetárias brasileiras visando o auxílio a deficientes visuais. Porém, nas imagens utilizadas durante a experimentação as cédulas estão posicionadas em cenários com iluminação, posição e plano de fundo controlados (plano de fundo completamente branco). Nesse sentido, é possível pressupor que caso o deficiente visual queira utilizar tais abordagens, o mesmo deve encontrar um local bem iluminado e com plano de fundo totalmente branco para realizar a verificação do valor da cédula em questão.

Para assegurar a consistência dos resultados obtidos durante a realização dos experimentos da técnica desenvolvida neste trabalho, foram adquiridas 4000 imagens para testes. Dentre o conjunto de imagens, o mesmo foi subdividido em frente (face) e verso (animal), e ainda subdividido em iluminação natural (sem *flash*) e iluminação artificial (com *flash*). Buscando representar alternativas para dispositivos com ou sem o recurso de iluminação artificial (*flash*). Analisando os resultados alcançados,

constatamos que a estratégia desenvolvida apresentou resultados precisos em todos os critérios avaliados.

Os trabalhos de (Bertanha *et al.* 2013; Lopes *et al.* 2013) utilizam bases com 90 e 500 imagens, respectivamente. Sendo insuficientes para agregar validade estatística aos resultados alcançados.

Os resultados obtidos no processo experimental deste trabalho evidenciam a robustez da abordagem. Para as 1000 imagens de cédulas de 10 reais processadas foram reconhecidas corretamente 99,64%. Para as 1000 imagens de cédulas de 20 reais processadas foram reconhecidas corretamente 99,81%. Para as 1000 imagens de cédulas de 50 reais processadas foram reconhecidas corretamente 99,31%. E para as 1000 imagens de cédulas de 100 reais processadas foram reconhecidas corretamente 98,23%. Resultando em uma proporção total de acertos de 99,26%.

Enquanto que em (Bertanha *et al.* 2013; Lopes *et al.* 2013) os índices médios de acerto foram 94,1% e 94%, respectivamente.

Dentre alguns fatores que influenciam na queda de desempenho da abordagem proposta estão:

- Distância entre o dispositivo e a cédula, maior do que o especificado para uso (aproximadamente 10 cm);
- Ambientes escuros e/ou com sombras, caso não seja utilizado o *flash*.
- Desfocagem da imagem, caso não seja utilizado o *flash*.

Como trabalhos futuros espera-se a implementação da abordagem proposta em dispositivos móveis, tendo em vista que tal abordagem demonstrou ser extremamente precisa para o reconhecimento de cédulas da 2ª família do Real.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPPEAM pelo incentivo a iniciação científica e suporte financeiro ao desenvolvimento da presente pesquisa.

Bibliografia

- Ahmadi, A.; Omatu, S. and Kosaka, T. 2004. Improvement of the reliability of bank note classifier machines, pp 1313-1316.
- Aoba, M.; Kikuchi, T. e Takefuji, Y. 2003. Euro Banknote Recognition System Using a Three-Layered Perceptron and RBF Networks. *Transaction on Mathematical Modeling an Its Applications*. Vol 44, pp 99-109.
- Bernsen, J. 1986. Dynamic Thresholding of gray-level images, *Proc. Eighth Int'l Conf. on Pattern Recognition*, Paris, France, pp 1251-1255.
- Bertanha, L. L.; Ferreira, D.; Bortolucci, J.; Cardoso, M.; Fernandes, G.; Ribani, R. e Forte, C. 2013. Recognition of Brazilian Currency Notes via Feature Point Extraction. *Workshop de Visão Computacional – WVC 2013*.
- Campos, D. A. R. e Machado, A. M. C. 2009. Um sistema de identificação de cédulas monetárias para indivíduos portadores de deficiência visual. *REIC – Revista Eletrônica de Iniciação Científica*. ISSN 1519-8219.
- Choi, E.; Lee, J. e Yooni, J. 2006. Feature extraction for banknote classification using wavelet transform. In *Proc. 18th International Conference on Pattern Recognition*. pp 934-937.
- Faceli, K.; Lorena, A. C.; Gama, J. e Carvalho, A. C. P. L. F. 2011. *Inteligência Artificial: Uma abordagem de aprendizado de máquina*. LTC, Rio de Janeiro. 378p.
- Filho, O. M. e Neto, H. V. 1999. *Processamento Digital de Imagens*. Brasport.
- Gonzalez, R. C. e Woods, R. E. 2000. *Digital Imaging Processing*. 2nd, Prentice Hall.
- Guerra, R. A. A. 2008. Identificação automática do disco óptico em imagens coloridas da retina. *Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*.
- Lopes, L. C. R. S.; Silva, M. C.; Lopes, A. K. e Soares, F. A. A. M. N. 2013. Aplicativo classificador de imagens de notas do real para plataforma android. *X Encontro Anual de Computação – EnAComp 2013*.
- Pedrini, H. e Schwartz, W. R. 2008. *Análise de Imagens Digitais. Princípios, Algoritmos e Aplicações*. Thomson..
- Reel, P. S.; Krishan, G. e Kotwal, S. 2008. Image Processing based Heuristic Analysis for Enhanced Currency Recognition. *International Journal of Advancements in Tenology*. ISSN 0976-4860.

Takeda, F. e Nishikage, T. 2000. Multiple kinds of paper currency recognition using neural network and application for euro currency. In Proc. IEEE International Joint Conference on Neural Networks. pp 143-147

Trier, O.D. and Jain A.K. 1995. Goal-Directed Evaluation of Binarization Methods. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol.17, no.12, pp.1191-1201.

IBGE, 2010. IBGE-CENSO, (<http://censo2010.ibge.gov.br/resultados>). Acesso em 19/09/2012.

Banco Central do Brasil, 2012. Banco Central do Brasil, (<http://www.bcb.gov.br/?MECIRCEDSEG>). Acessado em 11/11/2012

TABELAS

Tabela 1. Exemplos de imagens das cédulas monetárias utilizadas.



Tabela 2. Apresentação da disposição da base de imagens de cédulas monetárias brasileiras utilizadas no processo de experimentação.

Cédula R\$	Iluminação	Posição da cédula	Quant.
10,00	Sem Flash	Frente (Face)	250
	Sem Flash	Verso (Animal)	250
	Flash	Frente (Face)	250
	Flash	Verso (Animal)	250
20,00	Sem Flash	Frente (Face)	250
	Sem Flash	Verso (Animal)	250
	Flash	Frente (Face)	250
	Flash	Verso (Animal)	250
50,00	Sem Flash	Frente (Face)	250
	Sem Flash	Verso (Animal)	250
	Flash	Frente (Face)	250
	Flash	Verso (Animal)	250
100,00	Sem Flash	Frente (Face)	250
	Sem Flash	Verso (Animal)	250
	Flash	Frente (Face)	250
	Flash	Verso (Animal)	250
TOTAL			4000

Tabela 3. Resultados obtidos através do algoritmo de reconhecimento de cédulas desenvolvido.

Cédula R\$	Iluminação	Posição da cédula	Quant.	Acerto %
10,00	Sem Flash	Frente (Face)	250	100%
	Sem Flash	Verso (Animal)	250	100%
	Flash	Frente (Face)	250	98,51%
	Flash	Verso (Animal)	250	100%
20,00	Sem Flash	Frente (Face)	250	100%
	Sem Flash	Verso (Animal)	250	99,32%
	Flash	Frente (Face)	250	100%
	Flash	Verso (Animal)	250	100%
50,00	Sem Flash	Frente (Face)	250	99,62
	Sem Flash	Verso (Animal)	250	97,69
	Flash	Frente (Face)	250	100%
	Flash	Verso (Animal)	250	100%
100,00	Sem Flash	Frente (Face)	250	98,80%
	Sem Flash	Verso (Animal)	250	97,60%
	Flash	Frente (Face)	250	98,46%
	Flash	Verso (Animal)	250	98,09%
TOTAL			4000	99,26%

FIGURAS

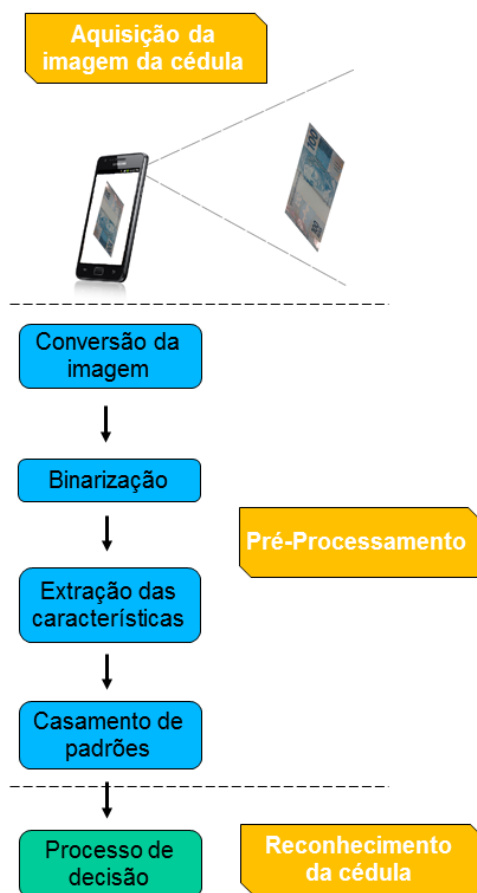


Figura 1. Esquematização da Metodologia adotada.



Figura 2. Processo de aquisição de imagens de cédulas monetárias brasileiras.



Figura 3. Máscaras binárias contidas nas cédulas do sistema monetário brasileiro.



Figura 4. Exemplos de imagens com dígitos reconhecidos e definidos.