

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CAPTURA, PROCESSAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DE IMAGENS UTILIZANDO LABVIEW™

Cesar Augusto Pifaia Cipelli ¹; Wânderson de Oliveira Assis ²

¹ Aluno de Iniciação Científica do CNPq (PIBIC-PIBITI-CNPq).

² Professor(a) da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT).

Resumo. *Este trabalho propõe o desenvolvimento de software de captura, visualização e processamento de imagens de forma a fazer a identificação pela forma e cor. Pretende-se adicionalmente desenvolver uma aplicação direcionada para competição estudantil de futebol de robôs, bem como uma aplicação voltada para a localização e identificação de partículas sólidas em fluido utilizado na perfuração de poços de petróleo. A eficiência do sistema desenvolvido será avaliada por meio de aplicação de robótica autônoma e em aplicação industrial na área de extração de petróleo.*

Palavras-chave: Visão computacional, Processamento de Imagem, Indústria do Petróleo, Fluido de Perfuração, Futebol de Robôs.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de técnicas de processamento de imagens no desenvolvimento de sistemas de visão computacional (Forsyth and Ponce, 2003) (Gonzales e Woods, 2000), é uma área de pesquisa fascinante que tem produzido recentemente resultados de grande relevância para inúmeros segmentos da sociedade. Podemos citar, por exemplo, aplicações de identificação e segmentação de objetos ou imagens humanas, reconstrução 3D de cenas reais, aplicações de prototipagem rápida (RP – *Rapid Prototyping*) para produção de objetos com formas complexas a partir de dados tridimensionais, rastreamento em tempo real e navegação de robôs móveis ou veículos não tripulados (Gomes et al., 2009), (Crawford e Downing, 2004), controle de processos de manufatura ou sistemas industriais (Denis et al., 2009), dentre outros.

Neste trabalho, propõe-se o desenvolvimento de um aplicativo utilizando os softwares NI Vision™ e NI LabVIEW™ (Regazzi e Pereira, 2005) para capturar imagens em tempo real e processá-las de forma a fazer a identificação baseada na forma e na cor. Serão estudadas duas aplicações. A primeira consiste numa aplicação de robótica autônoma onde se pretende determinar a localização e direção de movimentação dos robôs no campo de futebol. A segunda consiste numa aplicação industrial na área de extração de petróleo e consiste na caracterização de cascalhos presentes no fluido de perfuração de poços de petróleo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para ambas as aplicações, as etapas no desenvolvimento dos algoritmos foram:

- entendimento pleno de cada caso estudado, incluindo sua limitação, precisão e necessidades;
- aprender a manipular os softwares utilizados: National Instruments LabVIEW™ e National Instruments Vision™;
- elaboração do aplicativo para cada caso e realização de testes no software NI Vision™, o qual foi extremamente necessário para observar os efeitos de cada etapa que se pretendia realizar sem ser necessário fazer programação alguma (esta etapa foi realizada várias vezes);
- após a validação prévia do algoritmo utilizado no software Vision™, foi possível começar a programação em LabVIEW™ (neste item o Vision™ foi novamente muito útil, pois nele há uma ferramenta de conversão do algoritmo desenvolvido para o LabVIEW™, o

que permitiu a visualização de módulos do algoritmo no LabVIEW™ e assim, aprender como utilizá-lo);

- a programação em LabVIEW™ resultou em várias otimizações do algoritmo assim como outros modos de se enxergar o mesmo problema, mas ela foi destinada primeiramente ao programa que abria uma foto a partir de um arquivo;

- depois que esse programa se mostrava eficiente, foi desenvolvido para aquisição a partir de câmera;

- documentação das etapas em todo o decorrer do projeto.

O objetivo principal é desenvolver um algoritmo de processamento de imagens para reconhecer padrões de cores ou para caracterização com base na forma ou dimensões. O processo também permite a localização utilizando como referências as coordenadas globais da imagem (Figura 1).

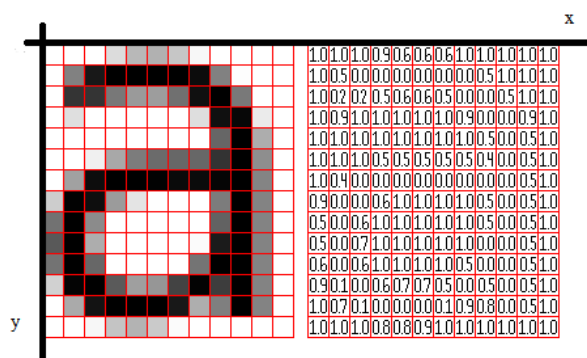


Figura 1 - Representação digital de uma imagem e coordenadas globais

Na elaboração desses algoritmos foram utilizadas várias técnicas de processamento de imagens que incluem segmentação, limiarização e conectividade, imposição de filtros morfológicos, etc.

Segmentação é o processo que permite extrair parâmetros que permitam associar regiões de uma imagem com objetos na cena.

A técnica da limiarização, ou imposição de limiares (*thresholds*), foi primeiramente adotada para a segmentação de imagens em tons de cinza e, posteriormente, generalizada para imagens multicromáticas e consiste basicamente na comparação dos valores de medição de cores dos pixels e sua comparação com limiares.

A conectividade consiste na análise da vizinhança dos *pixels* da imagem binarizada para verificar se estes estão conectados aos seus vizinhos.

Muitas vezes ao se capturar uma imagem digital em um ambiente real que apresente diferentes tonalidades e fontes de luz diretas ou refletidas podem ocorrer imperfeições e interferências indesejadas, o que pode prejudicar o processamento da imagem em análise. Com o objetivo de minimizar os efeitos desses parâmetros a literatura propõe o desenvolvimento de diferentes tipos de filtros, cada qual com sua finalidade. A aplicação de um filtro implica na transformação, *pixel a pixel*, da informação da imagem original. A alteração efetuada em um *pixel* da imagem filtrada não depende apenas do nível de cinza do *pixel* correspondente na imagem original, mas também dos valores dos níveis de cinza dos *pixels* situados em sua vizinhança. O funcionamento básico de um filtro consiste na operação de convolução de uma máscara (*mask*, *kernel* ou *template*) e da imagem considerada.

Detalhes sobre os processos de segmentação, limiarização e conectividade além de imposição de filtros podem ser vistos em Gonzales e Woods (2000) e Matta (2014).

Os algoritmos de processamento de imagens digitais desenvolvidos foram muito distintos para as diferentes aplicações. Assim, esta seção será dividida em duas partes, a primeira dedicada para a aplicação do futebol de robôs e a segunda para a aplicação de caracterização de cascalho em fluidos de petróleo.

a) Futebol de Robôs

A estrutura de implementação do futebol de robôs é ilustrada na Figura 2. As regras da categoria *Very Small Robot Soccer* da Competição IEEE Brasileira de Robôs baseiam-se nas regras da FIRA (*FIRA Game Rules*) sendo constituída de equipes com três robôs com dimensões máximas de 75mm x 75mm x 75mm. Cada robô possui cores de identificação na face superior, sendo uma delas comum para os robôs da mesma equipe e outra para identificação individual de cada robô.

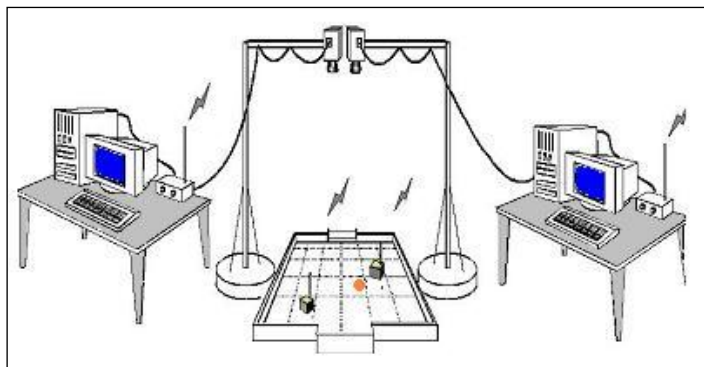


Figura 2 - Categoria *Very Small Robot Soccer*

O princípio de funcionamento do sistema é simples:

- Existe uma câmera posicionada acima do campo que coleta imagens do campo de jogo. Estas imagens são enviadas a um computador que identifica a posição dos robôs (inclusive dos robôs adversários) e da bolinha (que deve ser uma bola de golfe laranja).
- As posições dos robôs e da bola são enviadas a um programa de estratégia que decide sozinho qual a atitude que cada um dos robôs deve tomar, ou seja, não é um humano quem decide o que o robô deve fazer. A estratégia sim é desenvolvida pelo pesquisador.
- A estratégia é transmitida aos robôs por um sistema de transmissão de rádio frequência similar aos utilizados em aeromodelos.
- Os robôs são formados por um sistema receptor que converte as ondas de rádio em impulsos elétricos para os motores que impulsionam os robôs. Os robôs ainda podem ter um sistema de chute.

Aplicativo desenvolvido

A partir das informações apresentadas, foi decidido que seria preciso que o programa fornecesse as seguintes variáveis em relação aos robôs: posição de cada robô e o ângulo da frente do robô com o eixo x ou com um padrão. Para isso, foram desenvolvidos três softwares em LabVIEWTM da *National Instruments*. Dois deles realizam o mesmo algoritmo, mas um serve para adquirir a imagem a partir de um arquivo existente no computador e outro serve para adquiri-la através de uma câmera conectada ao computador. O outro software é um complemento para os outros dois e será explicado mais adiante.

Cabe salientar que o software NI VisionTM é um assistente do LabVIEWTM e também foi utilizado, sendo muito útil para testar os módulos separados do algoritmo.

O algoritmo de processamento, que opera de forma indiferente independentemente se a imagem vem de uma câmera ou de um arquivo, são realizadas as seguintes operações: faz-se a aquisição da imagem; o usuário agora tem a opção de selecionar a região de interesse (ROI - *Region Of Interest*). O algoritmo é constituído das seguintes etapas:

- limiarização colorida aplicando os limites superiores e inferiores determinados pelo usuário no modelo de cor especificado pelo usuário;

- filtragem por área da imagem binária, sendo seus limites superiores e inferiores determinados pelo usuário; então, a imagem binária é utilizada como máscara para a imagem original;

- busca por um padrão colorido de cada robô, sendo que as especificações dessa busca são determinadas pelo usuário, para cada *template*; o retorno dessa busca é o centro de massa do robô, em relação ao referencial da imagem, além do ângulo de rotação, em relação ao padrão, também especificado pelo usuário. Os passos do algoritmo serão ilustrados na Figura 3 (as setas cheias indicam passos certos, as setas pontilhadas indicam opções que o usuário pode tomar e as setas tracejadas indicam as saídas de cada etapa).

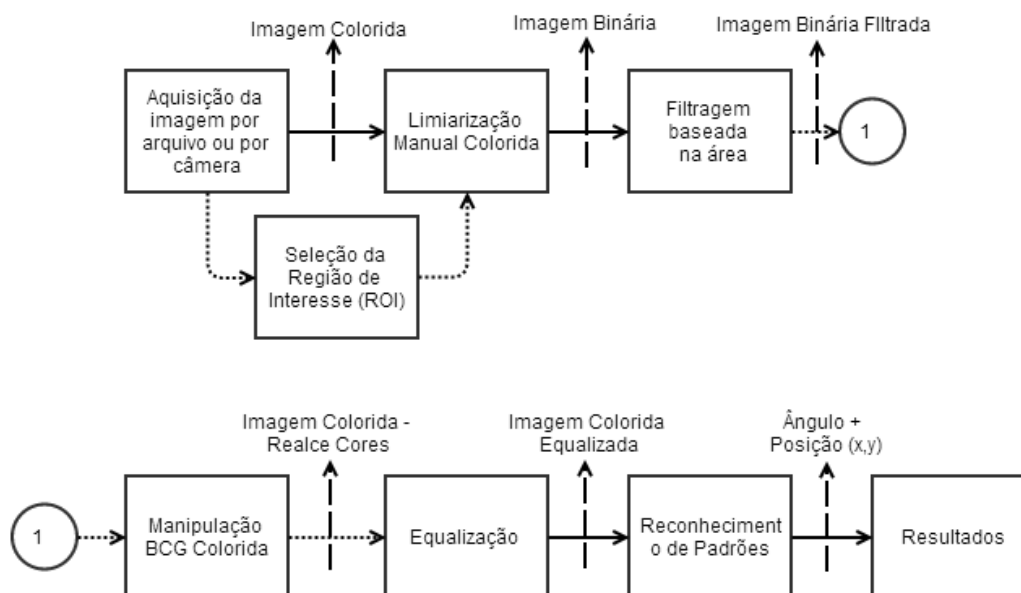


Figura 3 - Diagrama de blocos do algoritmo principal

A obtenção do padrão (ou *template*) colorido para a busca necessitaria do software Vision AssistantTM da National Instruments. Porém, como esse não está sempre disponível e a manipulação das variáveis Brilho, Contraste e Gama feita em qualquer outro programa não funcionaria, identificou-se a necessidade da criação de um software que fizesse esse trabalho. Com esse intuito, criou-se o programa complementar ao principal de busca dos robôs, o qual se pode aplicar a limiarização e a manipulação BCG, depois selecionar uma região, extraí-la da imagem e salvá-la numa imagem com extensão “png”. A interface desse programa é mostrada na Figura 4.

b) Aplicação "Caracterização de fluido utilizado na exploração de petróleo"

O *American Petroleum Institute* - API define fluido de perfuração como um fluido de circulação usado em perfurações rotativas para desempenhar as funções requeridas durante a operação de perfuração (Amorin, 2003). A partir desta definição, é impossível a perfuração rotativa sem um fluido de circulação, o que o torna um dos elementos mais importante na operação de perfuração.

O tratamento de fluido de perfuração é de suma importância na operação de perfuração de poços de petróleo, sob o ponto de vista operacional, ambiental e econômico. Este fluido possui sólidos em suspensão que têm origem na ação de corte das formações rochosas pela broca de perfuração ou em sua formulação inicial. Trabalhos recentes abordam estudos sobre os equipamentos utilizados para a separação sólido-líquido do fluido de perfuração (Lobato et al., 2011) (Guerreiro et al., 2012).

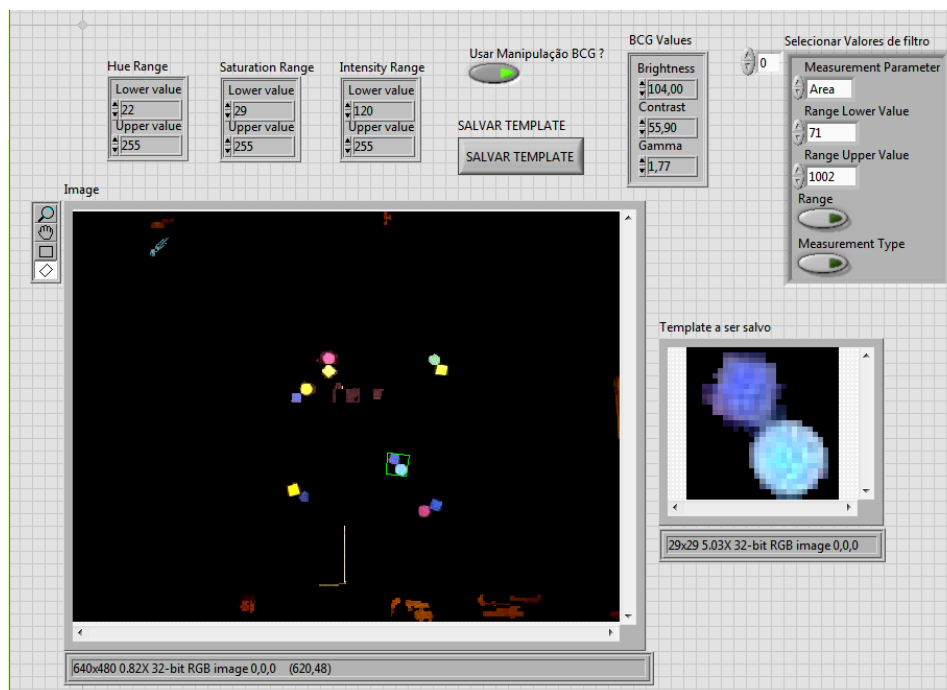


Figura 4 - Programa complementar para o algoritmo principal

Remover os fragmentos e detritos gerados durante a perfuração continua sendo uma das funções mais importantes dos fluidos de perfuração e, um dos maiores desafios, é caracterizar o tamanho das partículas e material sólido nas correntes de entrada e de saída da peneira (Matta, 2014) (Wang, 2008).

Nessa etapa, pretende-se utilizar imagens do fluido de perfuração de petróleo e desenvolver algoritmo para fazer a localização e caracterização de cascalhos, apresentando o formato e dimensão além de permitir uma análise estatística da concentração das partículas sólidas disponíveis no fluido.

Aplicativo desenvolvido

O tamanho das partículas que sobram no fluido de perfuração é relevante, pois ele serve para selecionar a broca adequada para a situação e qual sua velocidade de rotação. Com essas informações em mãos, foi determinado que o parâmetro final de saída fosse a área média das partículas na esteira, para se ter ideia do tamanho das pedras. O algoritmo desenvolvido contém três modos para se calcular essa área. O usuário deve selecionar qual achar mais preciso ou mais adequado para a situação do local.

O algoritmo busca ignorar e não utilizar para cálculos os aglomerados de pedras, pois se faz difícil a distinção entre uma pedra grande e um aglomerado. Isso não afetará muito os dados, uma vez que a esteira é vibrante e espera-se que grande parte das pedras fique isolada em algum momento. Além disso, o algoritmo será implementado em dois programas diferentes: o primeiro processará uma imagem a partir de uma imagem já existente; o segundo irá processar as imagens a partir de uma câmera. Em ambos os casos, o programa permitirá ao usuário escolher uma região de interesse em que se deseja analisar o cascalho.

São realizadas as seguintes etapas: aquisição da imagem a partir de uma imagem salva no computador ou a partir de uma câmera conectada ao computador, dependendo do programa que for aberto; utilização de uma ROI especificada pelo usuário (se o usuário não selecionar nenhuma ROI, a imagem inteira será utilizada para processamento). Vale lembrar que a ROI selecionada pode ter qualquer tipo de formato e o algoritmo identificará e funcionará corretamente em qualquer um deles, uma vez que a ROI é utilizada como uma máscara para a imagem inteira; calibração da imagem com uma imagem de calibração, se a opção for selecionada pelo usuário; extração do plano de Intensidade da imagem original para

transformar a imagem em tons de cinza (“grayscale”); neste momento pode-se realizar ou a manipulação de contraste, brilho e gama da imagem e optar por aplicar um filtro de suavização (mediana) ou pode-se fazer convolução com uma matriz de destaque de detalhes (“Highlight details”); agora, é possível realizar 3 operações:

1ª opção: Aplicação de filtro de Sobel para detecção de bordas seguida de preenchimento dos buracos, retirada dos objetos encontrados nas bordas e filtragem das partículas baseada numa variação aceitável (ou esperada) da área e do fator de alongação;

2ª opção: Aplicação de limiarização comum, rejeitando os objetos que tocam as bordas e com filtragem das partículas de forma similar ao proposto no caso anterior.

3ª opção: Aplicação de limiarização local utilizando filtro Niblack com rejeição dos objetos que tocam as bordas e filtragem semelhante à usada nos casos anteriores.

Em todos os casos, são escolhidas as propriedades que se deseja analisar, mas é evidente que na aplicação é mais relevante determinar-se a área que está associada ao tamanho das partículas. Contabiliza-se a área e se calcula média e desvio padrão para valores em pixels e para valores em medidas do mundo real (*Real World*) utilizando uma imagem calibrada. A Figura 5 ilustra as etapas desenvolvidas onde as linhas pontilhadas representam as combinações que o usuário pode fazer e as linhas tracejadas indicam a imagem de saída de cada etapa. Observa-se também na Figura 5 que o usuário pode selecionar o modo mais eficiente para as condições do local, levando em conta qualidade da imagem, luminosidade do local e contraste dentre outras características, de modo a facilitar a determinação das áreas das pedras.

Após o processamento, o usuário ainda pode obter um arquivo “.xls” que abre um arquivo Excel™ da Microsoft® para análise estatística.

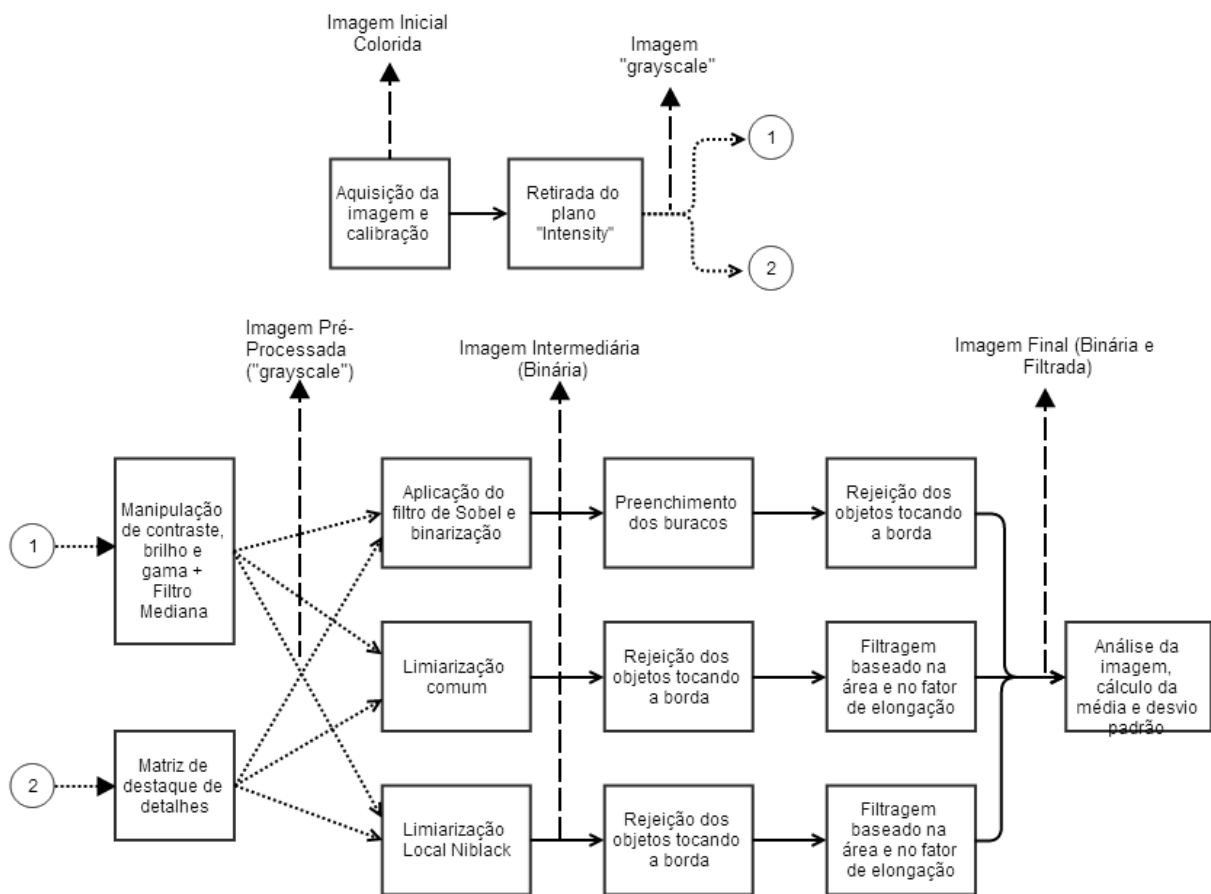


Figura 5 - Ilustração do algoritmo principal

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Futebol de robôs

Para avaliar a eficiência do algoritmo desenvolvido foram utilizadas imagens em situações com luminosidades distintas. As Figuras 7 e 8 ilustram situações com a variação da luminosidade, a qual foi reduzida na situação da Figura 8. Os resultados obtidos com o algoritmo desenvolvido estão apresentados nas Figuras 9 e 10.



Figura 7 – Foto com luz acesa



Figura 8 – Foto com luz reduzida

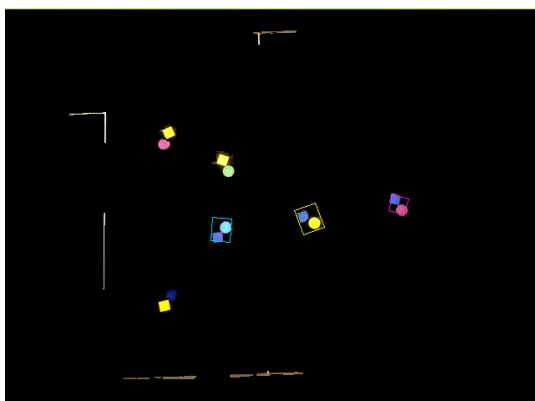


Figura 9 – Imagem final da Figura 7

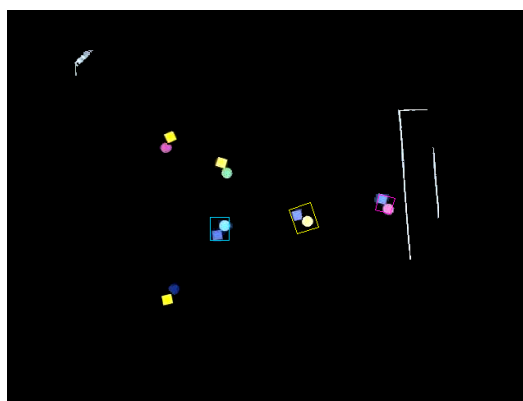


Figura 10 – Imagem final da Figura 8

Observa-se nas imagens que o algoritmo conseguiu identificar as cores e localizar os robôs, apresentando resultados praticamente idênticos mesmo com a variação da luminosidade. As Figuras 11 e 12 mostram os resultados numéricos obtidos para a identificação dos robôs com cores azul, rosa e amarelo, respectivamente apresentadas no lado direito, no meio e no lado esquerdo da tela de resultados. Pode-se verificar também que as variações dos ângulos entre as medições obtidas pelo algoritmo para variação da luminosidade, respectivamente nas Figuras 11 e 12, mostram que as diferenças apontadas são mínimas.

O algoritmo de processamento de imagem desenvolvido para o futebol de robôs mostrou-se bastante satisfatório para diversas imagens analisadas e não mostradas nesse trabalho por limitação de espaço. Observou-se melhora na eficiência e precisão com o uso da máscara quando comparado com a busca do *template* numa imagem sem máscara. Observou-se também que o uso do algoritmo com manipulação BCG permitiu aumentar em muito a precisão, eficácia e chances de encontro do padrão.

Com a utilização da máscara observou-se que, dependendo dos processos do computador (e de seu processador) a velocidade de processamento no algoritmo é da ordem de 20ms a 60ms aproximadamente, resultando em uma taxa de 16,67 a 50 fps, atendendo às necessidades da aplicação.

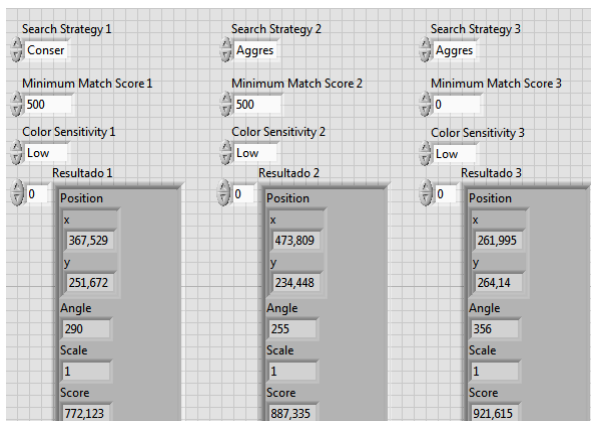


Figura 11 – Resultados com luz acesa

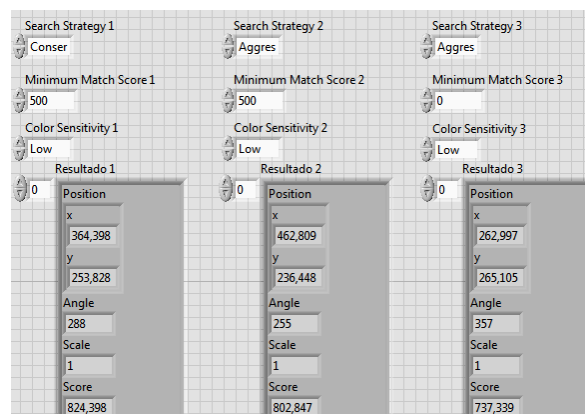


Figura 12 – Resultados com luz reduzida

b) Caracterização de partículas em fluido de perfuração

No desenvolvimento do algoritmo foram utilizadas imagens de calibração com o objetivo de permitir a determinação de medidas reais a partir da comparação com as medidas conhecidas na imagem padronizada, ao invés de apresentar medidas em pixels.

A Figura 13 apresenta à esquerda imagem do sistema utilizada como referência e que apresenta medidas de 933x609 pixels. Os correspondentes valores numéricos obtidos no algoritmo são apresentados na Figura 14 a qual permite visualizar as dimensões de cada partícula identificada (em pixels ou mm). A figura 14 mostra a média e o desvio padrão da propriedade (no caso, área) na escala pixel e em uma unidade de mundo real (no caso, mm). Utilizou-se algoritmo com filtro Niblack 40x40 pixels e *Deviation* ajustado em 0,6. Os limites de limiarização serão 0-108 pixels. O filtro de elongação terá valores entre 1-4 pixels e o de área terá de 80-300 pixels.

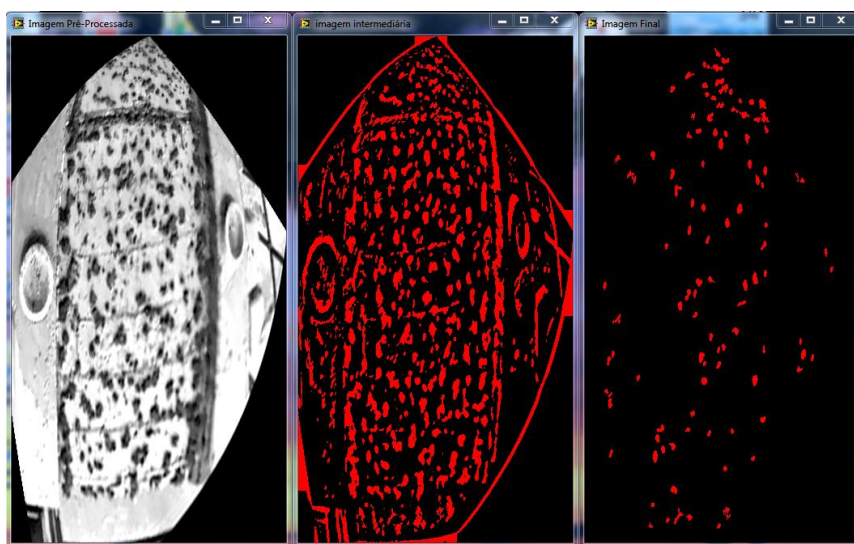


Figura 13 - Imagem calibrada, imagem intermediária, imagem filtrada com - Niblack

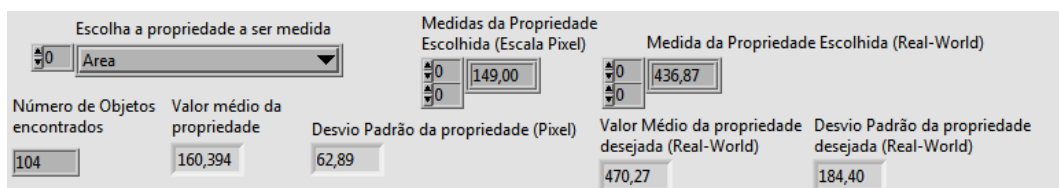


Figura 14 - Resultados utilizando limiarização Niblack

As Figuras 15 e 16 mostram imagens e resultados numéricos equivalentes, mas utilizando-se algoritmo com limiarização manual.

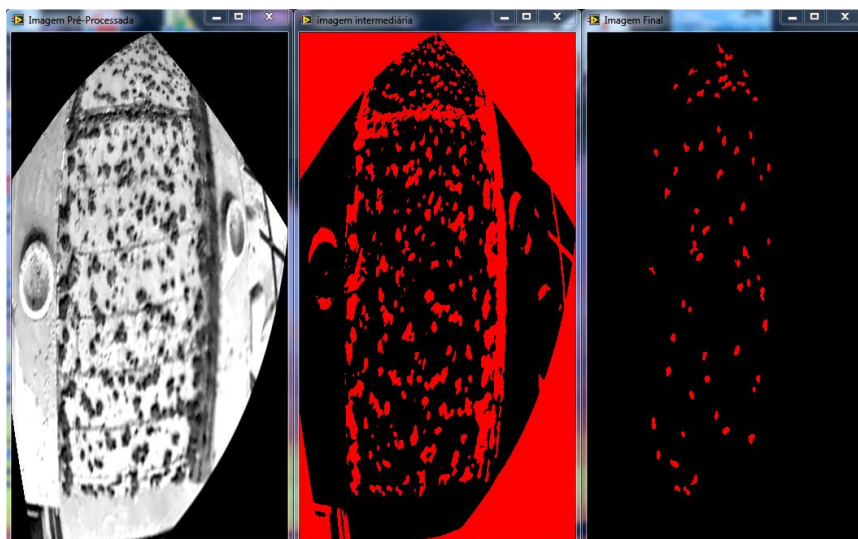


Figura 15 - Imagem calibrada, imagem intermediária, imagem filtrada - limiarização manual

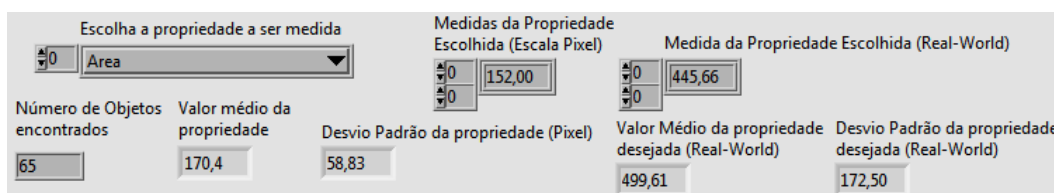


Figura 16 - Resultados utilizando limiarização manual

Diversas imagens foram utilizadas e os resultados obtidos com a aplicação do algoritmo de processamento de imagem desenvolvido mostraram a eficiência da solução desenvolvida na caracterização das partículas presentes no fluido de perfuração de poços de petróleo. Alguns resultados que não puderam ser apresentados aqui mostram que, dependendo da luminosidade do local, das condições operacionais e dimensões das partículas, torna-se necessário que o usuário faça uso do software com mais atenção e realmente entenda o que está acontecendo no código. Em outros casos, observou-se que mesmo que objetos que não interessam ao programa apareçam nas imediações da imagem, isso não afetará muito os resultados finais obtidos pelo algoritmo. Por fim, foram realizados testes para verificar a capacidade do algoritmo em eliminar os *clusters*, os quais podem alterar muito os resultados. Por meio da análise das diversas opções e funcionalidades introduzidas no algoritmo, observou-se que, com a possibilidade de seleção da ROI, o algoritmo apresenta eficiência na determinação do número médio de partículas identificadas, produzindo um índice de acerto superior a 88,89% para a grande maioria de configurações avaliadas no algoritmo e para diversas imagens analisadas.

4. CONCLUSÕES

O objetivo de desenvolver algoritmos de processamento de imagens para aplicações distintas foi cumprido com sucesso utilizando os softwares NI VisionTM e NI LabVIEWTM os quais permitiram capturar imagens em tempo real e processá-las de forma a fazer a identificação baseada na forma e na cor.

A identificação pela cor foi aplicada no futebol de robôs e produziu um aplicativo eficiente, de fácil configuração e que poderá ser utilizado por estudantes em competições de robótica autônoma na categoria *Very Small Robot Soccer*.

Na aplicação voltada para a caracterização de fluido de perfuração de poços de petróleo, o algoritmo de identificação pela forma e dimensões mostrou-se eficiente no tratamento de imagens capturadas de sistema real e mostrou-se bastante promissor para sua

futura utilização em aplicação real na indústria de exploração de petróleo. Adicionalmente, o trabalho desenvolvido foi uma importante contribuição para o projeto desenvolvido por (Matta, 2014).

Referências Bibliográficas

- AMORIN, L. V. Melhoria, Proteção e Recuperação da Reologia de Fluídos Hidroargilosas para Uso na Perfuração de Poços de Petróleo. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2003.
- CRAWFORD, B. G., DOWNING, D.R., **“Design and Evaluation of an Autonomous, Obstacle Avoiding, Flight Control System Using Simulated Visual Sensors”**, Anais do AIAA 2nd Unmanned Unlimited Technical Conference, Chicago, Illinois, EUA, 2004.
- DENIS, C.; ASSIS, W. O.; COELHO, A. D. Sorting Tomatoes for Industrial Processing Through of Computer Vision System Based on Neural Networks. **COBEM 2009 – International Congress of Mechanical Engineering**, Gramado, RS, 2009.
- FIRA MiroSot game rules. Disponível em: <http://www.fira.net/contents/sub03/sub03_3.asp>. Acesso em: 7 julho 2014.
- FORSYTH, D. A. and PONCE, J., “Computer Vision. A Modern Approach”, Prentice Hall, 2003.
- GOMES, M. M., ASSIS, W. O., COELHO, A. D., LABATE, C. G., CALASSO, D. F., CONDE FILHO, J. C. G., GENOVA, W. J., “Construção de Robôs Jogadores de Futebol – Parte 4 – A Visão Computacional”, Revista Mecatrônica Fácil, São Paulo, SP, 2006.
- GONZALES, R. C., e WOODS, R. E., “Processamento de Imagens Digitais”, Editora Edgard Blücher Ltda., 2000.
- GUERREIRO, F. S.; LANZA, B.; LOBATO, F.; NEIRO, S. M. S.; GEDRAITE, R. Contribuição ao Estudo do Comportamento Dinâmico da Etapa de Peneiramento em Unidade de Tratamento de Fluido de Perfuração XVII Jornada em Engenharia Química, Uberlândia, 2012.
- LOBATO, F. S.; LOPES, L. C. O.; GEDRAITE, R.; NEIRO, S. M. S.; MURATA, V. V.; SÁ, C. H. Identificação de Modelos par Unidades de Tratamento de Fluido de Perfuração ENAHPE 2011 - IV Encontro Nacional de Hidráulica de Poços de Petróleo e Gás, Foz do Iguaçu - PR, 2011.
- MATTA, Eduardo Nadaletto da. Caracterização das partículas de material sólido nas correntes de entrada e saída do fluido de perfuração de poços de petróleo fundamentada em processamento digital de imagens. Orientador: ASSIS, Wânderson de Oliveira. São Caetano do Sul, SP: CEUN/EEM, 2014. 95 p.
- REGAZZI, Rógério Dias; PEREIRA, Paulo Sérgio. Soluções práticas de instrumentação e automação: utilizando a programação gráfica LabVIEW, Rio de Janeiro, 2005.
- WANG, Weixing. Rock Particle Image Segmentation and Systems, Pattern Recognition Techniques, Technology and Applications, Peng-Yeng Yin, Ed. InTech, 2008.