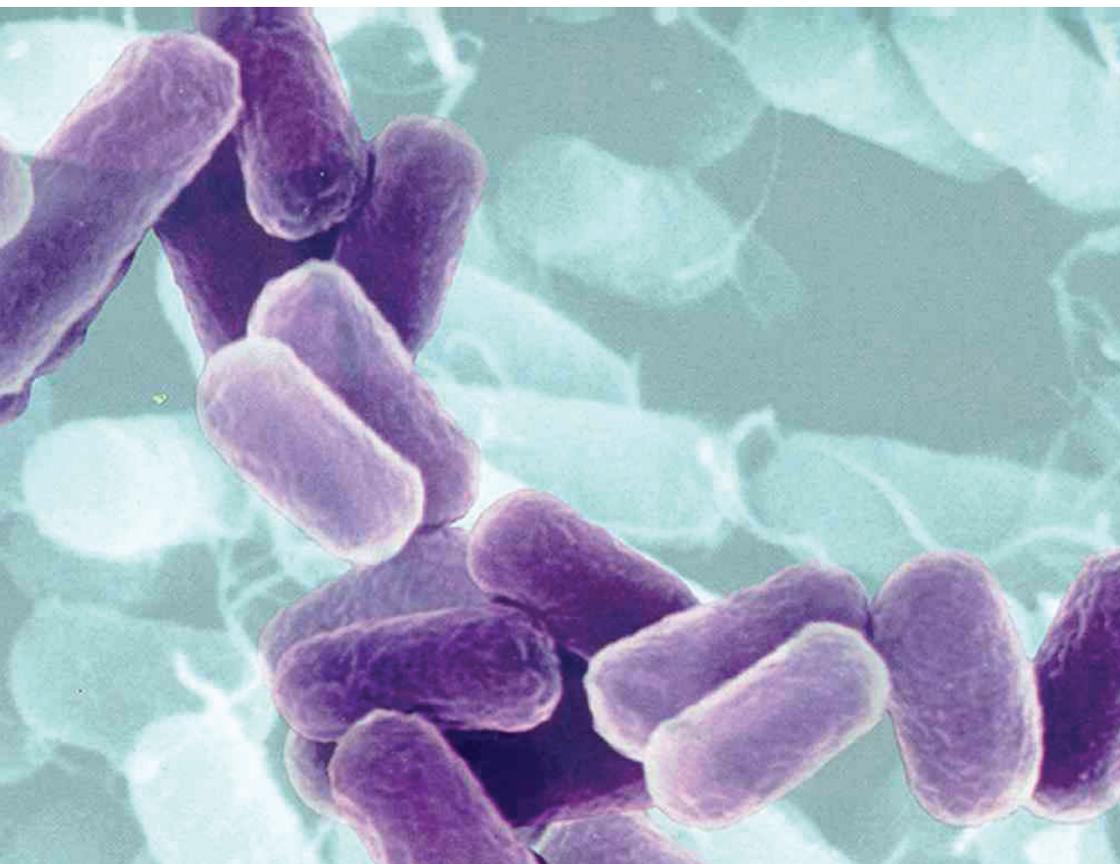


Estado da Arte das Técnicas de Contagem de Elementos Específicos em Imagens Digitais



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

Documentos 120

Estado da Arte das Técnicas de Contagem de Elementos Específicos em Imagens Digitais

Jayme Garcia Arnal Barbedo

Embrapa Informática Agropecuária
Campinas, SP
2012

Embrapa Informática Agropecuária

Av. André Tosello, 209 - Barão Geraldo
Caixa Postal 6041 - 13083-886 - Campinas, SP
Fone: (19) 3211-5700 - Fax: (19) 3211-5754
www.cnptia.embrapa.br
sac@cnptia.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá*

Membros: *Poliana Fernanda Giachetto, Roberto Hiroshi Higa, Stanley Robson de Medeiros Oliveira, Maria Goretti Gurgel Praxedes, Adriana Farah Gonzalez, Neide Makiko Furukawa*

Membros suplentes: *Alexandre de Castro, Fernando Attique Máximo, Paula Regina Kuser Falcão*

Supervisor editorial: *Stanley Robson de Medeiros Oliveira, Neide Makiko Furukawa*

Revisor de texto: *Adriana Farah Gonzalez*

Normalização bibliográfica: *Maria Goretti Gurgel Praxedes*

Editoração eletrônica/Capa: *Rebeca Freitas da Silva*

Imagem da capa: <https://www.google.com.br/imghp>

Secretária: *Carla Cristiane Osawa*

1ª edição on-line 2012

Todos os direitos reservados.

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Informática Agropecuária

Barbedo, Jayme Garcia Arnal.

Estado da arte das técnicas de contagem de elementos específicos em imagens digitais / Jayme Garcia Arnal Barbedo. - Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2012.

56p. : il. ; (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária, ISSN 1677-9274; 120)

1. Processamento digital de imagens. 2. Visão computacional. 2. Contagem de objetos. I. Embrapa Informática Agropecuária. Título. II. Série.

CDD 006.6 (21.ed.)

Autor

Jayme Garcia Arnal Barbedo

Doutor em Engenharia Elétrica

Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária

Av. André Tosello, 209, Barão Geraldo

Caixa postal 6041 - 13083-886 - Campinas, SP

Telefone: (19) 3211-5880

e-mail: jayme@cnptia.embrapa.br

Apresentação

Uma das principais aplicações do processamento digital de imagens é a estimação do número de certos objetos em uma imagem. O termo “objeto” refere-se aqui a qualquer elemento de interesse que pode ser identificado numa imagem digital. A variedade de problemas de contagem de objetos é muito grande, cada qual com suas características e desafios intrínsecos. A dificuldade do problema depende de uma série de fatores: contraste entre os objetos e o fundo, grau de agrupamento dos objetos, textura dos objetos e sua variação, tamanho do objeto e sua variação, complexidade dos objetos, etc.

Apesar das diferenças entre os problemas de contagem de objetos, a maioria deles apresenta ao menos algumas características comuns. Como resultado, as estratégias desenvolvidas para resolver um certo problema podem, potencialmente, incorporar soluções que seriam úteis na contagem de outros tipos de objetos.

Por outro lado, tal diversidade de problemas implica na publicação dessas propostas em uma ampla variedade de periódicos e conferências. Como é improvável que alguém consulte publicações que não são, em princípio, relacionadas com seu próprio campo de pesquisa, muitas potenciais soluções podem ser ignoradas.

O principal objetivo deste documento é o de apresentar estratégias que foram propostas para solucionar uma grande variedade de problemas de contagem de objetos, reunindo ideias que normalmente estariam isoladas. As referências são divididas por assunto e organizadas cronologicamente dentro de cada um desses assuntos. Alguns assuntos têm sido exaustivamente estudados, como a contagem de células, enquanto outros têm apenas um ou dois trabalhos publicados. As referências apresentadas aqui foram selecionadas de maneira a representar a mais ampla variedade de condições possível.

Kleber Xavier Sampaio de Souza

Chefe-Geral

Embrapa Informática Agropecuária

Sumário

Revisão de literatura	9
Contagem de células.....	9
Contagem de bactérias e/ou colônias de bactérias	17
Contagem de árvores.....	20
Contagem de pessoas	22
Contagem de frutas.....	23
Contagem de estruturas específicas em amostras de solo	24
Contagem de colônias de fungos.....	24
Contagem de pólen	25
Contagem de espigas	25
Contagem de cromossomos	26
Contagem de ovos de <i>Aedes Aegypti</i>	26
Contagem de defeitos em madeira	27
Contagem de insetos	27
Contagem de peixes	28
Contagem de grãos.....	28
Contagem de esperma.....	29
Contagem de parasitas de malária	29
Contagem de plâncton	29
Contagem de larvas	30
Contagem de lesões causadas por cisticercose	30
Contagens em ovários	31
Contagem de pontos fluorescentes em células	31
Contagem de biscoitos com defeito	32
Contagem de elementos geológicos extraplanetários	32
Contagem de sedimentos na urina	33
Contagem de partículas de amianto	33
Contagem de trilhas de radiação	34
Contagem de pintas na pele	35

Contagem de tarugos de aço	35
Contagem de circuitos impressos	36
Contagem de fontes de raios gama	36
Contagem de automóveis	36
Contagem de rubis em relógios	37
Contagem de tramas em quadros de pinturas	37
Contagem de objetos multicoloridos	37
Contagens gerais	38
Avaliação de desempenho dos algoritmos.....	40
Conclusão	40
Referências	44

Estado da Arte das Técnicas de Contagem de Elementos Específicos em Imagens Digitais

Jayme Garcia Arnal Barbedo

Revisão de literatura

Como comentado anteriormente, a contagem de objetos ou elementos em imagens encontra aplicações nas mais variadas áreas: células, bactérias, árvores, pessoas, frutas, amostras de solo, fungos, pólen, espigas, cromossomos, insetos, madeira, peixes, grãos, esperma, parasitas, plâncton, larvas, elementos geológicos, sedimentos, amianto, automóveis, circuitos impressos, entre outros. A revisão de literatura a seguir é apresentada de maneira a considerar cada uma dessas áreas separadamente. Dentro de cada área, os trabalhos são apresentados em ordem cronológica. Para cada trabalho selecionado, apresenta-se uma explicação mais completa de sua aplicação, bem como uma breve descrição das técnicas utilizadas.

Contagem de células

A contagem de células é a aplicação mais comum para a contagem de elementos em imagens. Por sua vez, a contagem de células sanguíneas é a que conta com maior número de métodos na literatura, embora contagens de outros tipos de células sejam também comuns. A seguir são apresentados alguns dos trabalhos mais relevantes nesta área.

O trabalho de Goin et al. (1990) foi escrito numa época em que as técnicas de processamento de imagens digitais ainda davam seus primeiros passos. O objetivo específico do trabalho era o de identificar e estimar o número de certas estruturas celulares usadas por cientistas para obter

informações sobre as células. Portanto, o método proposto não realizava uma contagem propriamente dita, mas uma estimativa do número desejado. O método proposto é fortemente baseado na curva de característica de operação de receptor (ROC, do nome em inglês), a qual fornece a estrutura conceitual e as fundações matemáticas dos modelos propostos. Os autores demonstram, usando a contagem de linfócitos como exemplo, que o método proposto tem um desempenho similar ao de seres humanos executando uma contagem manual.

No trabalho de Mussio et al. (1991), diferentes tipos de células e estruturas biológicas presentes em tecido hepático são identificadas e contadas. Aqui, em vez de se utilizar apenas um método, são utilizados diversos e diferentes esquemas, cada qual fornecendo suas próprias pistas sobre os objetos sob investigação. Ao final, o algoritmo reúne todas essas informações e as fundem, de acordo com o contexto, em uma única classificação. Segundo os autores, a estratégia utilizada emula, até certo ponto, a maneira pela qual um hepatologista identificaria tais estruturas. O algoritmo alcança uma correlação razoável com especialistas humanos realizando a mesma tarefa. Apesar dos resultados não terem sido excelentes, os autores destacam que o nível de concordância entre os especialistas humanos também não é muito elevado, revelando que a identificação de estruturas hepáticas pela mera inspeção visual, seja por um humano, seja por um computador, é repleta de ambiguidades.

Chen et al. (1999) sugerem um método para contar o número de células que sobrevivem a uma terapia fotodinâmica, usada em dermatologia, a fim de determinar a efetividade dessa terapia. O método proposto é dividido em cinco etapas: aplicação de um filtro para diminuir ruído, obtenção de uma imagem binária por limiar (“thresholding”), segmentação usando a técnica de divisor de águas (“watershed”), refinamento da imagem por pós-processamento e contagem. Testes revelaram que o erro de contagem do método proposto é abaixo de 7%.

Barber et al. (2001) apresentam uma técnica para a contagem do número de colônias de células. Esse trabalho está inserido no contexto do estudo dos efeitos da radiação sobre células de mamíferos, cujos testes são realizados submetendo-se as células a uma certa dose de radiação, e observando-se o número de colônias que se originam a partir dessas células. O método proposto utiliza uma versão modificada da transformada de Hough, e foi projetado de maneira a lidar corretamente com colônias fundidas ou

nebulosas, o que não havia sido alcançado por nenhum outro método até então. Os resultados foram comparados com as contagens realizadas por quatro especialistas humanos, chegando-se à conclusão de que os desempenhos são estatisticamente idênticos.

Theera-Umpon et al. (2001) identificam e realizam a contagem de diferentes tipos de células sanguíneas através da aplicação de uma teoria de mistura granulométrica não-homotética. Segundo os autores, o comportamento aleatório das células faz com que este tipo de teoria seja apropriado. A estratégia de estimação utilizada leva a um conjunto de equações lineares de difícil solução, motivo pelo qual os autores optaram por utilizar uma estratégia do tipo “dividir e conquistar”, em que o problema maior é dividido em um certo número de problemas menores e mais fáceis de serem resolvidos. Essas soluções parciais são posteriormente reunidas de modo a resolver o problema geral. Testes demonstraram o bom desempenho do método.

Em seu trabalho, King et al. (2002) tomaram uma tecnologia (*hardware*) já existente para a contagem de objetos biológicos, e desenvolveram um método de processamento digital de imagens que, em conjunto com a aplicação de um número de métodos analíticos, é capaz de melhorar o desempenho da tecnologia já existente. Como resultado, tem-se uma estrutura de captura de imagens diretamente acoplada a um computador, onde estão implementados os algoritmos propostos pelos autores. Essa combinação faz com que se tenha flexibilidade nas áreas onde a contagem deve ser aplicada, e resulta em boas estimativas quantitativas para os objetos de interesse.

Arambula Cosio et al. (2003) propõem um esquema de segmentação de imagens em cores para a contagem de células indicativas da contaminação do indivíduo por parasitas. Essa indicação se dá pela injeção de marcadores imunocitoquímicos que reagem com células afetadas pelo parasita. Para que um retrato completo da situação seja possível, deve-se contar não somente as células que reagem, mas também aquelas que não reagem aos marcadores, a fim de que se possa determinar a proporção de células afetadas. Para isso, os autores usaram uma técnica de segmentação de divisor de águas (*watershed*) aperfeiçoada, combinada com um esquema de detecção de bordas. A correlação entre a contagem automática e a contagem manual foi, segundo os autores, de 80%.

Fang et al. (2003) abordam o tema da contagem de células de tumores. O método proposto é dividido em dois estágios. No primeiro, células

tumorosas são automaticamente segmentadas usando técnicas de limiar adaptativo local e imersão dinâmica de água. Devido a ruídos histológicos, um grande número de falsos positivos é obtido nesta etapa. Por isso, uma segunda etapa é aplicada, que consiste numa mineração de regras de características. Os autores reportaram um índice de acertos de 94,3%.

O problema da contagem de hepatócitos (células do fígado) é abordado por Refai et al. (2003). Segundo os autores, esse é um problema difícil devido às características das imagens: baixo contraste, iluminação desigual, variações de cinza dentro de uma mesma célula, formatos irregulares, etc. Para resolver esse problema, os autores implementaram um método em três estágios: condicionamento, segmentação (pela técnica de limiar adaptativo local) e operações morfológicas matemáticas, ao fim das quais realiza-se a contagem. O índice de acerto alcançado pela proposta foi de cerca de 85%.

Benali et al. (2003) propõem um método para contagem de células em seções cerebrais rotuladas com diferentes anticorpos. As imagens são convertidas para o modo binário através da aplicação de limiar. Os parâmetros do algoritmo são ajustados manualmente de acordo com o contraste utilizado para destaque da área cerebral de interesse. Segundo os autores, o método proposto apresenta bons resultados quando comparado com especialistas humanos e com outro método comercialmente disponível.

Loukas et al. (2003) abordam o problema da contagem de núcleos de células cancerosas em seções de tecidos. O primeiro passo do método proposto consiste na detecção do número total de células, independente de estarem destacadas pelo marcador ou não, usando detecção de borda de segunda ordem. Na segunda etapa, as células cancerosas são localizadas aplicando Principal Components Analysis (PCA) à imagem colorida, combinada com limiar de histograma. O índice de erro obtido pela proposta foi de 4% a 7%, e a correlação com a contagem manual foi de 97%.

O tema abordado por Dahle et al. (2004) é o mesmo abordado por Barber et al. (2001), ou seja, o estudo dos efeitos da radiação em células. A proposta dos autores emprega um escâner para capturar a imagem de placas de Petri contendo as colônias de células. Para lidar com o problema de agrupamento das colônias, os autores empregaram uma análise de imagem padrão com um algoritmo de ponto de inflexão. Tomando as contagens manuais como “ground-truth”, os autores chegaram a resultados um pouco melhores que o sistema comercial usado para comparação.

Montseny et al. (2004) abordam o problema da contagem de células brancas em amostras de medula óssea, a qual é usada para detectar infecções, anemia e leucemia. Os autores buscaram emular a maneira como especialistas humanos lidam perceptualmente com a informação de cor. Para isso, eles montaram um dicionário com cores e tons de referência, com os quais as imagens a serem analisadas são comparados. O sistema usa uma abordagem nebulosa (fuzzy), acomodando dessa maneira a variabilidade natural dos dados de cor.

Em mais um artigo lidando com a contagem de células brancas, Theerapattanakul et al. (2004) propõem um esquema de segmentação usando contorno ativo. Aqui, uma imagem binária é obtida a partir da amostra de sangue por meio da aplicação de limiar. A seguir, um objeto em forma de serpente é encaixado no interior de cada célula branca, o qual é então aumentado até que preencha toda a célula. Por fim, a célula branca é extraída de acordo com o contorno resultante. Os autores não fornecem resultados quantitativos.

Sun et al. (2005) propõem um método para contar células no contexto de testes com drogas antivirais, onde realiza-se a contagem de células infectadas com e sem a presença desses antivirais. No esquema proposto, a contagem de células é realizada usando um filtro de Gabor com diferentes parâmetros. A variação desses parâmetros leva a diferentes desempenhos, e a determinação dos parâmetros ótimos depende das características das células. Experimentos realizados pelos autores mostraram um índice de acerto de 99,3%.

Shimada et al. (2005) propõem um método para a contagem de células cerebrais em drosófilas, as quais são os menores animais a terem um cérebro, ainda que rudimentar. O algoritmo proposto é capaz de contar células a partir de imagens 2D e 3D, contagem esta realizada através do suporte de objetos, em geral discos ou bolas, alocados no interior das células. O método, na verdade, conta o número de núcleos celulares, os quais são mais facilmente distinguíveis.

O problema da contagem de células nucleadas em imagens de medula óssea é retomado por Feng et al. (2006). Os autores adotaram um esquema usando redes neurais celulares aperfeiçoadas. Os autores afirmam que a maior parte do sucesso alcançado pelo método proposto é devida ao cuidadoso projeto dos modelos (*templates*).

Prasad e Badawy (2007) propõem um método para contagem de células de leucemia usando um hemocitômetro. O algoritmo foi desenvolvido para funcionar com diferentes qualidades de imagem. Ele usa um filtro de mediana recursivamente segmentado, bem como uma máscara de gradiente de Prewitt para gerar uma caixa que envolve todas as células identificadas. Diagramas de perfil de intensidade são usados para classificar células isoladas presentes em aglomerações de células. O método atingiu uma taxa de acerto de 95% quando comparado com a contagem manual, mesmo no caso de imagens de baixa qualidade.

Em sua tese de mestrado, D'Souza (2007) propõe um método para contagem de células cerebrais submetidas ao contraste de Nissl, usado para destacar as células de interesse nas imagens capturadas. O algoritmo proposto é dividido em cinco partes: aquisição da imagem, pré-processamento, processamento, análise e refinamento e, finalmente, visualização. Para lidar com áreas esparsamente povoadas por células, o autor usa uma combinação de rotulagem de componentes conectados com casamento de *templates*, enquanto áreas densamente povoadas são tratadas usando o algoritmo de partição de águas (*watershed*). Por fim, o algoritmo de cubos marchantes é usado para converter os dados volumétricos em uma representação poligonal 3D.

Niyazi et al. (2007) abordam o problema da contagem de colônias em culturas de células. O programa fornece três parâmetros: nível de cinza, o tamanho máximo de uma colônia e a distribuição dos tons de cinza dentro da colônia. O programa está disponível gratuitamente na internet, porém necessita de um alto grau de intervenção humana para funcionar adequadamente. Os autores não fornecem qualquer descrição técnica a respeito das técnicas usadas no algoritmo.

Syed et al. (2008) buscam fazer a contagem automática de células cancerosas a fim de rastrear sua migração e identificar metástase. O algoritmo proposto segue uma linha bastante convencional: segmentação por limiar, uso da transformada de Hough para reconhecimento e detecção por meio da suposição de que as células de interesse são redondas e variam pouco em tamanho, suposição esta que, de acordo com os próprios autores, pode não ser muito realista em muitas situações. O índice de acerto alcançado pelo algoritmo foi de 85%.

O algoritmo proposto por Bernal et al. (2008) visa contar e classificar células com diferentes formas geométricas em uma dada imagem. O algoritmo

assume que as geometrias e tamanhos das células que podem potencialmente aparecer nas imagens são conhecidos a priori. São combinadas técnicas clássicas, como a Transformada de Fourier Bidimensional, com novas ferramentas voltadas sobretudo ao realce de bordas, e também com a definição de um conjunto sobre-completo de funções de referência a serem usadas como *templates* para identificação das células. O resultado final, segundo os autores, é um algoritmo robusto, de alta resolução e com baixa complexidade computacional.

Bewes et al. (2008) propõem um método para contagem de colônias de células baseado na forma completa da Transformada de Hough, abordagem esta que, de acordo com os autores, era inédita até então. As imagens das colônias são pré-processadas pela aplicação de erosão, dilatação e suavização Gaussiana. As bordas das colônias são identificadas através de discriminação de campo do gradiente de intensidade. A técnica proposta elimina a necessidade de hardware especializado para a captura das imagens. O método foi capaz de identificar colônias com morfologia incomum, resolver colônias fundidas e contar corretamente as colônias localizadas próximo às bordas dos frascos.

Gao et al. (2008) propõem um novo método de segmentação para contagem de leucócitos, cuja principal inovação é a incorporação de informação de textura. O método integra uma transformada *wavelet* complexa não dizi-mada à segmentação por divisor de águas e usa a informação obtida pela segmentação de limiar adaptativa para refinar os resultados. Segundo os autores, o método é simples, fácil de implementar e robusto ao problema de sobre-segmentação, comum a muitos métodos existentes na literatura.

No método proposto por Su et al. (2008), a característica de autoonda das redes neurais de pulso acoplado é explorada para fornecer contagens de células mais precisas. Segundo os autores, o método é capaz não apenas de eliminar o ruído da imagem e segmentar corretamente a imagem contendo células sanguíneas, mas também é capaz de eliminar objetos degradados, os quais podem prejudicar seriamente o processo de contagem. O método não funciona bem nos casos em que há sobreposição das células, nem em casos em que as características das células não são homogêneas.

Nasution e Suryaningtyas (2008) comparam o desempenho de dois algoritmos, Rotulagem de Componentes Conectados e Redes Neurais Artificiais Retropropagadas, na contagem de células sanguíneas vermelhas. Alguns

pré-processamentos – escalamento de cinza, equalização de histograma e filtragem – são realizados antes da aplicação dos algoritmos citados. Os resultados mostram que os algoritmos têm um desempenho semelhante, com um índice de acerto em torno de 87%.

Poomcokrak e Neatpisarnvanit (2008) propõem um método simples para contagem de células sanguíneas vermelhas. O método possui três etapas: eliminação de células incompletas presentes nas bordas da imagem, extração de células individuais por meio de algoritmo de detecção de bordas, e identificação e contagem das células vermelhas por meio de uma rede neural. Os resultados são razoáveis, porém nenhuma comparação com outros métodos é fornecida.

Um método para contagem de células em geral é proposto por Kothari et al. (2009). Segundo os autores, um dos maiores desafios no desenvolvimento de contadores de células eficientes é a segmentação de aglomerações de células. Os autores atacam esse problema através de três passos. Primeiro, realiza-se um pré-processamento que localiza os núcleos das células. Em seguida, aplica-se uma detecção de concavidade nos limites da aglomeração para encontrar os pontos de sobreposição entre dois núcleos. Por fim, essas concavidades são segmentadas por meio de uma técnica de condicionamento de elipses. Feita a segmentação, os núcleos são contados. Testes demonstraram a efetividade do método.

Xiong et al. (2009) propõem um método de contagem de células sanguíneas capaz de lidar com as diferenças de concentração das células, sendo às vezes esparsa, às vezes fortemente aglomerada. Os autores selecionam áreas “boas” para serem contadas em termos do grau de espalhamento das células e do grau de agrupamento, esse último determinado pelos picos obtidos a partir da aplicação de transformadas de Hough circulares multiescala. Por fim, Support vector machine (SVM) são usadas para classificar as imagens.

Em mais um trabalho lidando com a contagem de leucócitos, Hamghalam e Ayatollahi (2009) propõem um método de contagem focado em resolver o problema da variabilidade morfológica de diferentes tipos de leucócitos. Para isso, os autores exploram os histogramas das imagens e a intensidade das células vermelhas, as quais são pervasivas, para selecionar os melhores pontos de limiar, promovendo assim uma melhor seleção dos verdadeiros leucócitos.

Mauricio et al. (2010) propõem uma técnica para contagem de hemácias em amostras de sangue de animais selvagens, com a justificativa de que, apesar de haver diversos métodos aplicados a sangue humano, há poucos estudos levando em consideração amostras de animais. Esse é um problema desafiador, já que as diferentes concentrações de elementos são pouco conhecidas nesses casos. Curiosamente, os autores apresentam vários resultados usando o algoritmo, mas não fornecem nenhuma informação técnica sobre o mesmo.

Nguyen et al. (2010) propõem um método de contagem de células sanguíneas, o qual incorpora uma nova técnica para separação de células sobrepostas ou agrupadas. Na abordagem adotada pelos autores, os pontos centrais das células são detectados através de uma medida de distância. A seguir, os tamanhos das células são estimados. A separação das células finalmente se dá por meio da aplicação adequada das informações de ponto central e de tamanho coletadas nas etapas anteriores.

Contagem de bactérias e/ou colônias de bactérias

A segunda aplicação mais comum para a contagem de elementos em imagens diz respeito a bactérias ou colônias de bactérias. A seguir são apresentados nove desses trabalhos.

A contagem de coliformes fecais para controle da qualidade da água é a principal motivação do método de contagem de bactérias proposto por Mukherjee et al. (1995). O método possui uma etapa de pré-processamento, onde a imagem é tratada de maneira a facilitar a contagem, e uma etapa de classificação e contagem, a qual é feita pela aplicação da técnica da transformada de distância. Apesar de seus resultados serem apenas razoáveis, esse trabalho é relevante por ter sido um dos primeiros, senão o primeiro, a propor um método de contagem automática de bactérias.

Cordiki et al. (1998) propõem um método para contagem de colônias de bactérias que explora as propriedades da superfície de colônias microbianas. As colônias em placas de Petri são iluminadas com lâmpadas halógenas para destacar essas propriedades. Um algoritmo de limiar multinível é empregado para separação e contagem das colônias. Os autores reportaram bons resultados e afirmam que o método pode ser facilmente adaptado para outras aplicações.

Outro método para contagem de colônias é proposto por Marotz et al. (2001). O método é dividido pelos autores em duas partes: pré-processamento e reconhecimento dos objetos. O pré-processamento é composto pela detecção da área de contagem, escalamento da imagem e aplicação de limiar. A parte de reconhecimento é composta pelo cálculo dos parâmetros primários, seleção dos objetos promissores, cálculo dos parâmetros para os objetos promissores, cálculo da qualidade dos objetos promissores usando lógica nebulosa, comparação dos pixels dentro da esfera de influência e detecção do centro dos objetos. Após, realiza-se a contagem.

Osowsky e Gamba (2001) propõem um sistema para contagem de colônias de bactérias composto por um aparato físico para captura das imagens das placas e um programa para contagem automática das colônias. O programa adquire e calcula a média de vinte imagens de uma placa de Petri e utiliza um método de “subtração de fundo” (*background subtraction*) para separar as colônias de bactérias do restante da imagem e atenuar pequenas diferenças de iluminação. A imagem é então limiarizada e as colônias são contadas usando um algoritmo recursivo capaz de localizar e determinar a dimensão, em pixels, de cada uma das colônias. Os autores afirmam que o sistema é capaz de contar colônias com mais de 8 mm² com uma correlação superior a 0,99 com a contagem manual. Chen e Zhang (2008) apresentam um método praticamente idêntico ao proposto por Osowsky e Gamba (2001), contendo apenas algumas modificações bastante sutis.

Schönholzer et al. (2002) propõem uma estratégia para o estudo e contagem de bactérias em diferentes tipos de ambiente. Para isso, a captura das imagens é feita separadamente em cada um dos canais RGB. O processo é composto pelas seguintes etapas: a) detecção de todos os objetos no canal verde (tanto bactérias quanto detritos); b) diferenciação entre bactérias e detritos, tendo como base o processamento dos canais verde e azul; c) eliminação das partículas de detritos das imagens. Todas as amostras foram submetidas a um processo de coloração antes da captura das imagens, como é padrão nesse tipo de processo.

Selinummi et al. (2005) apresentam um programa, disponível gratuitamente na internet, para a contagem de bactérias. O método inicia corrigindo as variações de brilho presentes no plano de fundo da imagem, o que ocorre devido a iluminação desigual. A seguir, os pixels relativos às células são separados dos demais através de um limiar global, produzindo uma ima-

gem binária com as células sendo representadas pelos pixels brancos e o fundo por pixels pretos. Células aglomeradas são separadas pela segmentação por divisor de águas. Por fim, artefatos são removidos de acordo com algum limiar. Como se pode observar, esse é um método bastante convencional, usando técnicas amplamente difundidas.

Zhang R. et al. (2008) propõem um sistema para detecção, classificação e contagem de colônias de bactérias. Numa primeira etapa, o sistema faz a escolha do método de processamento mais adequado, dependendo do tipo de imagem (cromática ou acromática). A seguir, uma segmentação hierárquica é realizada, assumindo que a imagem é composta por três camadas: fundo, contêiner e colônia de bactérias. Em seguida, o programa faz uma análise da morfologia das colônias, a fim de separar colônias agrupadas, caso necessário. Por fim, faz-se a contagem do número de colônias.

Men et al. (2008) apresentam um método para contagem de bactérias heterotróficas em água de refrigeração industrial. A imagem é inicialmente convertida para tons de cinza e as bordas do recipiente contendo as amostras são eliminadas. A seguir, a imagem é binarizada usando o método de limiar com ponderação pela escala de cinza, e a segmentação de colônias sobrepostas é realizada através da transformada de distância e do algoritmo de divisão de águas. Segundo os autores, o algoritmo é rápido, simples, robusto e acurado.

Em sua tese de mestrado, Goyal (2008) faz uma ampla descrição dos tipos de contagens de bactérias existentes e das dificuldades apresentadas por cada um deles, além de apresentar um tutorial sobre visão de máquina. O autor dá também uma forte ênfase à configuração e montagem do hardware utilizado na pesquisa. Mais do que propor um método, o autor analisa diversos parâmetros extraídos das imagens e disserta sobre sua utilidade na contagem de colônias de bactérias. Assim, esse é um trabalho mais prospectivo do que propriamente inovativo.

A proposta de Ates e Gerek (2009) tem como principal característica não empregar transformadas baseadas na forma, como a transformada de Hough. Ao invés, eles desenvolveram um método iterativo de dois passos. Primeiro, é realizada uma binarização usando um limiar baseado no histograma da imagem. A seguir, objetos binários isolados são analisados de acordo com seu tamanho e taxa de compactação, a fim de determinar quão próximos esses objetos são de colônias circulares ideais. Se o objeto não atende aos critérios de compactação, um algoritmo de divisor de

águas é aplicado a fim de dividir o objeto em novas possíveis colônias. O algoritmo divide os objetos até que todos satisfaçam as condições, obtendo-se então a contagem final.

O método proposto por Shen et al. (2010) é bastante convencional, possuindo uma etapa de pré-processamento, em que um filtro de mediana é aplicado para reduzir o ruído, uma etapa de binarização por meio da aplicação de limiar, uma etapa de remoção das bordas da placa, por fim usa um método heurístico para realizar a contagem final.

O trabalho escrito por Zhang et al. (2010) lida com o problema da contagem de bactérias em amostras de alimentos, no contexto de detecção de contaminação de comida. Primeiramente, a imagem é binarizada através da aplicação de um limiar. A seguir, impurezas e outros artefatos são removidos da imagem usando máquinas de suporte vetorial (SVM). No próximo passo, parâmetros morfológicos são coletados, os quais irão alimentar os SVMs usados na etapa subsequente. A última etapa é responsável pelo reconhecimento e contagem dos padrões, usando as SVM citadas anteriormente. Os resultados obtidos pelo sistema são muito próximos daqueles obtidos por especialistas humanos.

Contagem de árvores

A contagem de árvores, bem como as demais aplicações a serem apresentadas mais adiante, é uma aplicação com significativamente menos trabalhos na literatura que aquelas apresentadas nos itens anteriores. Contudo, há um certo número de trabalhos de interesse, conforme descrito a seguir.

Sokkarie e Osborne (1994) propuseram um método para localizar, contar e medir laranjeiras a partir de imagens aéreas das plantações. A segmentação da imagem é realizada pelo método “range-growing”. A seguir, a imagem é vetorizada horizontalmente, e um conjunto de dados estatísticos é extraído. Os objetos a serem contados devem atender alguns critérios definidos pelo usuário: tamanho, diâmetro máximo e circularidade. Segundo os autores, o método funciona bem, e pode ser adaptado para contagem dos mais variados tipos de objetos.

Disperati et al. (2007) propõem o uso da técnica de filtragem de máximos locais na contagem de árvores de reflorestamento, especificamente pinhei-

ros. Os autores aplicaram a técnica a fotos com diferentes resoluções (100 a 600 dpi), chegando à conclusão de que, quanto maior a resolução, mais corretos são os resultados, como seria de se esperar. Eles também testaram diferentes tamanhos de filtros, chegando ao tamanho ideal de 21 x 21 pixels. A acurácia de identificação chegou a 70%, indicando que melhoras ainda são necessárias.

O trabalho de González et al. (2007) propõe a integração de diferentes técnicas de análise de imagens e técnicas probabilísticas em um sistema para contagem de oliveiras em imagens de satélite de alta resolução. Nesse tipo de imagem, as oliveiras aparecem como manchas escuras disjuntas, cujas características podem variar significativamente de uma área para outra, porém mantêm uma certa homogeneidade dentro de certas regiões. Esse fato é explorado pelos autores a fim de calcular a probabilidade de determinado objeto ser uma oliveira de fato. O método é eminentemente estatístico e envolve o cálculo de diversas probabilidades. O índice de acerto alcançado pelos autores ficou próximo de 99%.

O problema de contagem de oliveiras a partir de imagens de satélite é também abordado por Bazi et al. (2009). No método proposto, as oliveiras são separadas dos demais componentes da imagem através de um Gaussian Process Classifier (GPC). O GPC é alimentado com diferentes atributos morfológicos carregando informação espacial. Na saída desse passo tem-se uma imagem binária com as oliveiras em destaque. Por fim, aplica-se um processo de seleção em que os potenciais candidatos que não atendem a certos requisitos são removidos da contagem.

Vibha et al. (2009) sugerem uma técnica para contagem de árvores em geral a partir de imagens de sensoriamento remoto. O algoritmo é dividido em três partes principais: a) segmentação, a qual é dividida em quatro passos; b) identificação da área de vegetação, a qual é dividida em seis passos; c) contagem, a qual é dividida em nove passos. O artigo não fornece muitos detalhes técnicos a respeito da implementação do algoritmo ou das técnicas utilizadas. A acuidade reportada pelos autores é próxima de 90%.

Neste trabalho desenvolvido na Embrapa Embrapa Informática Agropecuária por Miranda et al. (2009) descrevem um programa para a contagem não-supervisionada de cajueiros. Esse é um problema difícil devido ao grau de espalhamento que os cajueiros podem atingir, de modo que muitas árvores aparecem fundidas em fotos aéreas. O programa foi implementado em Java e utiliza técnicas de processamento de imagem,

como morfologia matemática e filtro de difusão complexa, e um processo de otimização baseado em algoritmos genéticos, para tornar possível a localização e contagem das árvores. Os mesmos autores usam uma técnica semelhante para a contagem de laranjeiras (CAMARGO NETO; MIRANDA, 2009).

Contagem de pessoas

A contagem automática de pessoas normalmente é realizada sobre sinais de vídeo, e não imagens estáticas. Contudo, mesmo esses métodos podem potencialmente fornecer ideias que podem ser usadas no processamento de imagens estáticas. A seguir são apresentados alguns desses métodos.

O sistema proposto por Chan et al. (2008) foi projetado tendo em mente a proteção da privacidade das pessoas a serem contadas. O método estima o número de pessoas se deslocando em diferentes direções, sem usar explicitamente segmentação ou rastreamento de objetos, a partir de imagens de vídeo. Primeiro, a cena é dividida em componentes com movimento homogêneo usando modelos de movimento de texturas dinâmicas. A seguir, uma série de atributos holísticos são extraídos de cada região segmentada, e a correspondência entre atributos e número de pessoas é aprendida através de uma regressão de processo gaussiano, correspondência essa usada posteriormente na contagem de pessoas em novas cenas.

Wu et al. (2008) propõem um método capaz de detectar e segmentar objetos parcialmente encobertos em imagens, com aplicação direta na contagem de pessoas em cenas de vídeo. Os autores usam uma hierarquia de partes para identificar partes do objeto alvo, mesmo que o todo não esteja disponível. O algoritmo tenta maximizar a verossimilhança conjunta de várias partes, criando hipóteses sobre a que objeto mais geral correspondem aquelas partes, fornecendo assim uma estimativa para o número de objetos (pessoas) presentes na cena.

Mezei e Darabant (2010) propõem um sistema para contagem de pessoas composto de três partes. Na parte de realce das imagens, o algoritmo aplica uma subtração de fundo, um escalamento de cinza, binarização e erosão e dilatação. Na parte de detecção de manchas (idealmente, cada mancha corresponde a uma pessoa), as manchas são rastreadas de ma-

neira a identificar quais delas estão fragmentadas ou fundidas para posterior correção. Por fim, o algoritmo realiza a contagem.

Hou e Pang (2011) apresentam um método efetivo para estimar o número de pessoas e localizar indivíduos em imagens de baixa resolução e em cenas complicadas. O artigo apresenta três contribuições principais: a) pós-processamento é aplicado aos resultados da subtração de fundo para estimar o número de pessoas em cenas complicadas; b) um método baseado na maximização de expectativa (EM) é proposto para localizar indivíduos em cena de baixa resolução; c) o número de pessoas é usado para localização de indivíduos. Assim, os métodos de contagem e localização de indivíduos estão intimamente conectados. Resultados mostraram uma taxa média de erros de 10%.

Contagem de frutas

Stajanko et al. (2004) apresentam um método para contagem e medição de maçãs durante a estação de crescimento, quando as cores das frutas e das folhas não diferem significativamente. Para lidar com esse problema, foram usadas imagens térmicas. A detecção das frutas é realizada através da combinação adequada das imagens obtidas separadamente para cada canal RGB, após o que é realizada a contagem. A correlação obtida entre as contagens automática e manual foi de 0,85.

Wijethunga et al. (2008) propõem um método para contagem automática de frutas kiwi antes da colheita. Primeiramente, a imagem é segmentada em quatro regiões: frutas, folhas, galhos e fundo. A seguir, a imagem é binarizada, sendo que todas as regiões que não correspondem às frutas são feitas pretas. Os autores testaram três estratégias de contagem: máximo regional, transformada de distância e área. O índice de erros foi bastante elevado em todos os casos, o que, segundo os autores, se deve às características das frutas e às falhas dos métodos de contagem. Os autores destacam também que o método deve sempre ser sintonizado manualmente, o que significa que uma completa automação é improvável.

Contagem de estruturas específicas em amostras de solo

Aydemir et al. (2004) propõem métodos para classificar e quantificar diferentes feições de solo, como constituintes minerais e não-minerais, componentes cristalinos e não-cristalinos, e vazios. Os autores testaram tanto sistemas de classificação supervisionada quanto não-supervisionada. O sistema com melhor desempenho foi aquele baseado na técnica dos vizinhos mais próximos, com 95% de acuidade. Esse é um trabalho com um caráter predominantemente prospectivo, já que nenhuma técnica realmente nova é sugerida.

O'Donnel et al. (2010) propõem um método para identificar e quantificar feições redoximórficas no solo. Essas feições são importantes na determinação da umidade relativa presente no solo. O procedimento de classificação supervisionada foi desenvolvido com base nos mapas de cor de solo de Munsell e nas definições existentes de feições redoximórficas de solo. O método deve ser manualmente recalibrado sempre que novos tipos de solo forem analisados.

Contagem de colônias de fungos

Lucarini et al. (2004) propõem um método para contagem de micro-organismos. Este trabalho foi colocado nesta seção porque todos os testes foram realizados com leveduras, embora os autores afirmem que o método pode ser usado em outras aplicações. O trabalho se baseia na técnica de contagem de células em hemacitômetro. Na pesquisa, os autores implementaram um sistema que captura imagens de um microscópio óptico por meio de uma câmera de vídeo e envia a imagem para um computador. Após, a imagem é digitalizada, limiarizada e a quantidade de micro-organismos é calculada usando um algoritmo de rotulação de áreas conectadas.

Um sistema para a contagem de colônias de levedura é proposto por Schier e Kovar (2011). O método foi desenvolvido de forma a usar os equipamentos de captura de imagens já existentes no laboratório dos autores, de modo que algumas restrições se aplicaram. O método é dividido em duas partes. Na primeira, de pré-processamento da imagem, é realizada uma checagem da qualidade da imagem, limiarização da imagem, localização da placa e limiarização do fundo da placa. Na segunda, contagem

de colônias, são estimados o diâmetro e a posição do centro das colônias, além da contagem propriamente dita.

Contagem de pólen

A seguir são apresentados dois trabalhos relacionados à contagem de pólen.

Bechar et al. (1997) propõem uma técnica para contagem de pólen em estigmas. O método proposto é totalmente heurístico e aplicado sobre uma versão binarizada da imagem original. A identificação dos pólenes é baseada na cor, tamanho e brilho das partículas, o que, segundo os autores, faz com que este método possa ser usado em outras aplicações. O erro máximo de contagem foi de 15%.

Costa e Yang (2009) apresentam outro método para contagem de pólen. Eles usaram pólen de duas espécies, cujas partículas foram iluminadas em slides e fotografados digitalmente através de um microscópio. Usando um programa disponível comercialmente (ImageJ), as imagens foram processadas para remoção de ruído e para destacar grãos de pólen individuais, e também para a contagem dos grãos. Os autores desenvolveram uma macro para analisar múltiplas imagens ao mesmo tempo. Os erros obtidos foram mínimos.

Contagem de espigas

Cointault e Gouton (2007) propõem um método para contagem de espigas de trigo. Os autores primeiro utilizam técnicas de processamento de imagens relacionadas a textura e cor, representando as imagens num espaço híbrido cor-textura. Após, eles testam diversas técnicas de segmentação de texturas baseadas na extração de atributos usando métodos estatísticos. Esses atributos são usados na classificação não-supervisionada dos pixels para obter as diferentes classes da imagem, a partir das quais é realizada a contagem. A taxa de erros final foi bastante elevada, de 66%.

Han et al. (2010) descrevem um método para contagem de fileiras de grãos em espigas de milho, a fim de determinar sua qualidade. Os autores usam imagens tomadas do corte transversal das espigas. O algoritmo é baseado em marcadores de bordas e curvatura discreta. O índice de acer-

to alcançado foi de 91%. Os autores afirmam que a maior parte dos erros é devida a deformidades nos grãos.

Contagem de cromossomos

ujendran et al. (2004) propõem um sistema de contagem automática de cromossomos a fim de acelerar o processo de análise citogênica. A técnica envolve a aplicação de limiar por histerese para binarização, aplicação de um filtro de mediana para eliminar efeitos de sal e pimenta, esqueletização da imagem, separação dos cromossomos, nova esqueletização, eliminação de artefatos (*blobs*) e, finalmente, contagem, realizada através de uma sequência de passos projetados para lidar especificamente com as características morfológicas dos cromossomos. O algoritmo apresentou uma taxa de erro de 6%.

Wenzhong e Shuqun (2008) propõem um algoritmo para contagem automática de cromossomos. No começo do algoritmo, são aplicadas à imagem as técnicas de equalização de histograma, segmentação por limiar e operação de erosão. A seguir, uma técnica de rotulagem é aplicada para atribuir um rótulo único a cada objeto na imagem. Objetos classificados como ruído são então eliminados. Por fim, a contagem dos objetos de interesse é realizada. A taxa de erros alcançada ficou em torno de 10%.

Contagem de ovos de *Aedes Aegypti*

O método proposto por Mello et al. (2008) para a contagem de ovos de *Aedes Aegypti* (transmissor da dengue) baseia-se na segmentação das cores presentes nas imagens capturadas a partir das armadilhas de ovos. Duas representações de cor foram testadas: HSL e YIQ. Em ambos os casos, os autores aplicam filtros não-lineares baseados em morfologia matemática a fim de destacar os ovos e tornar a contagem possível. A taxa de erro alcançada foi de cerca de 7,5%.

O segundo trabalho dedicado à contagem de ovos de Gusmão et al. (2009) inclui alguns dos mesmos autores do primeiro, tendo ambos os métodos vários pontos em comum. As maiores diferenças são o uso dos

sistemas de cores $L^*a^*b^*$ e HSV, e o uso do algoritmo k-médias para agrupamento de elementos comuns, divididos em três grupos: ovos, armadilha e regiões intermediárias.

Contagem de defeitos em madeira

Em seu estudo, Ruz et al. (2005) propõem um método de segmentação de imagens para detecção e contagem de defeitos na superfície de madeira, o qual é denominado rede neural min-max nebulosa para segmentação de imagens (FMMIS em inglês). O método faz crescer caixas a partir de um conjunto de pixels sementes, a fim de encontrar os menores retângulos a envolver os objetos de interesse (defeitos). Os autores também apresentam um método para selecionar adequadamente os pixels sementes. Os testes foram realizados com amostras contendo dez tipos de defeitos e o método alcançou uma taxa de detecção de 95%.

Li e Qi (2007) propõem um método para detectar, contar e medir rachaduras em imagens tomográficas de toras de madeira. O método de detecção é similar àquele proposto por Ruz et al. (2005), sendo o número de rachaduras dado pelo número de caixas que surgem ao redor dos objetos de interesse. A posição e formato dos defeitos são obtidos através da aplicação de dimensões fractais – normalmente as áreas com rachaduras possuem menor dimensão que as áreas livres de defeitos.

Contagem de insetos

Shen et al. (2007) propõem um método para contar afídeos (insetos) em folhas de soja, com a finalidade de fornecer subsídios para o controle desse problema. Primeiramente, a imagem é filtrada para remover ruído. Após, a imagem é convertida para o sistema de cores HSI. Um limiar é então aplicado (binarização), sendo a imagem resultante basicamente composta pelos afídeos e pelas nervuras das folhas. Para eliminar as nervuras, erosão é aplicada. Por fim, é realizada uma contagem de baixa complexidade computacional. Os autores reportam acerto de 98%.

Lu e Qin (2010) propõem um método para contar insetos presentes em grãos armazenados. O método é baseado em Modelos Ocultos de Markov

(HMM). O algoritmo HMM é inicializado com um algoritmo k-médias modificado, o qual melhora sua eficiência e estabilidade. Várias imagens contendo insetos em meio a grãos foram usadas para treinar os modelos, usando o algoritmo de Baum-Welch. Os autores reportam um sucesso de 98% na detecção de insetos na posição normal, e de 87% na detecção de insetos posicionados lateralmente.

Contagem de peixes

Como no caso da contagem de pessoas, também aqui é mais comum o uso de imagens de vídeo do que imagens estáticas, embora as técnicas propostas possam ser estendidas para o caso de imagens estáticas.

No método para contagem de peixes proposto por Morais et al. (2005), uma técnica de filtragem Bayesiana é aplicada a fim de permitir o rastreamento de objetos cujo número varia com o tempo. O método não apenas permite a contagem adequada dos peixes, como também permite a obtenção de informações características de cada espécie como habilidade de nado, tipo de migração, picos de fluxo, etc. O método permite também estimar a trajetória de nado dos peixes. A taxa de acerto alcançada foi de 81%.

Toh et al. (2009) apresentam um método no qual cada quadro do vídeo capturado é processado separadamente e independentemente. O primeiro passo é a obtenção das manchas marcando a posição dos peixes – os autores apresentam várias opções para esta tarefa. A seguir, ruído e objetos de fundo são filtrados da imagem contendo as manchas. A informação de área das manchas é usada para estimar o número de peixes; o procedimento é repetido para todos os quadros, de onde se extrai o número médio de peixes. Os autores reportaram bons resultados.

Contagem de grãos

Zhao e Li (2009) propõem um método para a contagem de grãos. A captura das imagens é realizada após os grãos serem alocados em um contêiner vibratório para dispersão dos grãos. O método é composto das seguintes etapas: transformação da imagem para escala de cinza, filtragem do ruído, binarização da imagem, aplicação da técnica de erosão e contagem.

O programa foi implementado em Matlab. Os autores reportam um acerto próximo de 100% para grãos grandes, como soja.

Contagem de esperma

Um método para segmentação e contagem de esperma de ratos é proposto por Ren et al. (2010). Seu objetivo foi o de melhorar a segmentação baseada no método de Ostu, especialmente no sentido de minimizar o esforço computacional, o que foi conseguido pelo uso da iteração de Newton. O algoritmo aplica um fator de forma para remover ruídos e artefatos, e um processamento morfológico para marcar cada um dos espermatozoides. Por fim, é realizada a contagem.

Contagem de parasitas de malária

Tek et al. (2010) propõem um método para detecção e contagem de parasitas da malária. Esse é um problema difícil pois o corante destaca outros objetos além dos parasitas. O esquema de detecção é baseado no classificador de k-vizinhos mais próximos, o qual permite o ajuste da sensibilidade e especificidade do método. Os autores também comparam três diferentes esquemas de classificação, provando que é possível identificar a espécie e o estágio do ciclo de vida dos micro-organismos.

O método para detecção e contagem de células contaminadas com o parasita da malária proposto por Zou et al. (2010) é composto por três passos. No primeiro, um mosaico de imagens é construído de modo a obter um campo de visão amplo, baseado em *manifolds* espaço-tempo. A seguir, faz-se a segmentação dos eritrócitos usando a transformada de Hough. Por fim, os componentes nucleados são identificados e contados.

Contagem de plâncton

Embleton et al. (2003) apresentam um método para a contagem de plâncton. O método requer participação ativa de seres humanos, e é composto por 18 passos, os quais incluem diversas regras heurísticas e a aplicação

de técnicas clássicas normalmente usadas nesse tipo de problema, como binarização, esqueletização, filtragens, etc. A parte de contagem automática, em particular, é baseada em redes neurais artificiais e numa série de regras heurísticas. O método para detecção e contagem de células contaminadas com o parasita da malária proposto por Zou et al. (2010) é composto por três passos. No primeiro, um mosaico de imagens é construído de modo a obter um campo de visão amplo, baseado em *manifolds* espaço-tempo. A seguir, faz-se a segmentação dos eritrócitos usando a transformada de Hough. Por fim, os componentes nucleados são identificados e contados.

Contagem de larvas

Flores et al. (2008) propõem um método para contagem automática de larvas de vieiras peruanas. O algoritmo inicia selecionando a área de interesse na imagem, onde a contagem será realizada. A seguir filtros laplacianos e de mediana são aplicados para melhorar o contraste das bordas. A seguir, a imagem é binarizada. As larvas são então classificadas de acordo com a existência ou não de contato entre elas, havendo também uma classificação específica para larvas que não estão inteiramente localizadas na região de interesse. Por fim, é realizada a contagem, tendo como base a área ocupada pelas larvas. A acuidade alcançada foi de cerca de 95%.

Contagem de lesões causadas por cisticercose

Comunello et al. (1999) descrevem um método de identificação e contagem de lesões (calcificações) causadas pela cisticercose, a fim de ajudar radiologistas a realizar diagnósticos mais simples e confiáveis para a neurocisticercose. As imagens utilizadas são obtidas através da tomografia computadorizada. O método segmenta as imagens, e os segmentos resultantes são classificados através de uma rede neural artificial. As lesões são então identificadas e destacadas na imagem. O algoritmo então relaciona as lesões encontradas em cada uma das fatias da tomografia, gerando uma representação 3D da cabeça do paciente com as respectivas localizações das lesões. Os autores reportam que o sistema por eles proposto tem desempenho ligeiramente melhor que o de um especialista humano.

Contagens em ovários

Deng et al. (2008) sugerem um método para contagem de cistos em ovários, no contexto da detecção da síndrome do ovário policístico. O algoritmo começa filtrando a imagem de ultrassom através de um filtro morfológico adaptativo. A seguir, um algoritmo de divisor de águas rotulado modificado é usado para extrair os contornos dos alvos. Finalmente, um método de agrupamento é aplicado para identificar os cistos foliculares esperados. O sistema atinge uma acuidade de 84%.

Skodras et al. (2009) propõem um método para contagem automática de oócitos (óvulos não maduros) em ovários. O método é dividido em cinco etapas. Na etapa de pré-processamento, realiza-se uma transformação de componentes de cor, ajuste de contraste, redução da profundidade de bits de 8 para 3 e filtragem de mediana. Na etapa de seleção de máscara, aplica-se um limiar por histerese e fechamento morfológico seguido por dilatação. Na etapa de separação de objetos, tem-se a busca por máximos locais na imagem, uma reconstrução morfológica segundo certos critérios e aplicação da transformada de divisor de águas. Na etapa de seleção de objetos, tem-se a exclusão de objetos tocando as bordas da imagem, busca das bordas dos objetos e rejeição de objetos que não atendem a certos requisitos. Por fim, tem-se a parte de cálculo dos dados, onde determina-se o diâmetro dos objetos, coordenadas dos centroides e contagem dos oócitos.

Contagem de pontos fluorescentes em células

Netten et al. (1996) analisam a contagem de pontos fluorescentes no interior de células. A hibridização de fluorescência *in situ* permite que se enumerem anormalidades cromossômicas nos núcleos celulares. Os autores testaram três diferentes esquemas para a detecção dos pontos fluorescentes: a) limiar Tophat, o qual é baseado na transformação de Tophat; b) limiar Laplaciano, o qual é uma versão estendida do limiar Tophat; c) rotulagem de pontos, técnica essa também baseada na transformada de Tophat, mas agora adotando limiares variáveis ao invés de limiares constantes. Segundo os autores, esse último esquema apresenta os melhores resultados.

Selinummi et al. (2006) apresentam um método para quantificação de pequenos pontos fluorescentes, o qual é baseado na teoria de agrupamento nebuloso. A detecção é baseada na intensidade da fluorescência dos pontos e nas diferenças de intensidades entre os pontos e o ambiente circundante. Os autores destacam que, por ser um método completamente automático (não necessita de intervenção humana), ele garante a objetividade dos resultados obtidos.

Tai e Cheng (2008) propõem um método para contagem de pontos fluorescentes em células, método este baseado no algoritmo “basis pursuit” e num esquema de limiarização, resultando em imagens comprimidas ideais para a contagem de pontos. O algoritmo “basis pursuit” é implementado usando tanto wavelets quanto curvelets. Um algoritmo simples para contagem de pontos, baseado no esquema de rotulagem de componentes conectados, é aplicado às imagens processadas.

Contagem de biscoitos com defeito

Ahn et al. (2009) propõem um método para detecção e contagem de defeitos em biscoitos numa linha industrial. O primeiro passo do algoritmo é a binarização da imagem. Se as bolachas estão encostadas ou sobrepostas umas às outras, elas são separadas por algoritmo de detecção de cantos K-cosseno. A seguir, a detecção de defeitos é conduzida usando a área e os momentos invariantes dos objetos.

Contagem de elementos geológicos extraplanetários

Forshaw e Wiles (1995) descrevem um esquema para contagem do número de vulcões na superfície do planeta Vênus, a partir das imagens obtidos pela sonda Magalhães usando radar de abertura sintética (SAR). O programa utilizado é baseado na teoria de casamento de correlação, usando um algoritmo de mínimos quadrados. A ideia é que a superfície de correlação resultante será elevada quando há somente terreno plano e apresentará buracos onde os vulcões estão localizados. Segundo os autores, os resultados são razoáveis, porém erros frequentes ocorrem quando as áreas dos vulcões se correlacionam com partes ruidosas do terreno plano.

Pedrosa et al. (2011) propõem uma abordagem para detecção de crateras na superfície de Marte, por meio do uso conjunto de produtos de sensoriamento remoto e técnicas de morfologia matemática (MM). Os autores realizaram os experimentos usando exclusivamente rotinas presentes na *Toolbox* de morfologia matemática desenvolvida para Matlab por um grupo de pesquisa americano. As imagens utilizadas foram adquiridas pela *Mars Orbiter Camera* a bordo da sonda *Mars Global Surveyor*.

Contagem de sedimentos na urina

O algoritmo proposto por Zhou et al. (2010) para contagem de elementos sólidos na urina é composto por treze passos (os onze primeiros dedicados à segmentação), resumidos a seguir: aplicação de filtro gaussiano, extração de mapa de gradiente, cálculo do limiar de borda e de fim, aplicação do algoritmo para inibição não-máxima, busca de bordas, cálculo da conectividade de bordas, aplicação de filtro de consolidação de objetivos, aplicação de conector de bordas para fechamento de operação, novamente filtro de consolidação de objetivos, aplicação de algoritmo para expansão do conector de bordas, obtenção do mapa de segmentação integrado, aplicação de rede neural para classificação da imagem segmentada e, por fim, contagem.

Contagem de partículas de amianto

Ishizu et al. (2008) descrevem um método para contagem de partículas de amianto presentes na água, substância esta altamente cancerígena. Primeiramente, a imagem coletada através de um microscópio de contraste de fase é dividida em áreas menores. A seguir, cada uma dessas áreas é classificada usando a variância de cor calculada a partir dos valores RGB dos pixels. Então, as partículas são detectadas pela informação de cor e, na sequência, contadas.

O método proposto por Kumagai et al. (2008) usa subtração de fundo para destacar as partículas a serem contadas. Essa estratégia faz uso de duas imagens, uma contendo a amostra onde a contagem deve ser realizada, e outra imagem contendo apenas o fundo. Ambas as imagens devem ser obtidas sob exatamente as mesmas condições, de maneira que, quando

a imagem de fundo é subtraída daquela contendo a amostra, (idealmente) restam apenas as partículas a serem contadas. A detecção das partículas é realizada após a binarização da imagem resultante. A contagem final é feita a partir de um processo de rotulagem.

Contagem de trilhas de radiação

Tsankov et al. (2005) propõem um método para contagem automática de trilhas causadas por radônio em detectores de trilhas nucleares de estado sólido. O método começa considerando apenas o componente verde da imagem RGB, devido ao melhor contraste apresentado. A seguir, a média e o desvio-padrão da densidade da imagem são calculados, a fim de estimar a densidade de fundo. Um valor de limiar de densidade é então determinado de acordo com a densidade de fundo e seu desvio-padrão. Por fim, todos os pixels são examinados e todas as regiões compactas com densidade acima do limiar são contadas como trilhas.

Lippold et al. (2007) propõem um método para contagem automática de trilhas de fissão. Essas trilhas são causadas pela presença de urânio em minerais, seu número é proporcional à quantidade de urânio e à idade dos minerais, revelando portanto algumas importantes informações geológicas. O método começa pela aquisição da imagem, a qual é então submetida a um pré-processamento. A seguir, faz-se uma classificação baseada em objeto, a qual é composta por três passos: identificação do atributo ótimo, agrupamento intermediário e cálculo do limiar final. Em seguida, é realizada a contagem, a qual serve como base para inferir a idade do material analisado.

Hernández et al. (2007) descrevem um método para contar trilhas causadas por radônio em detectores Makrofol, usados para detectar a presença de radiação em locais com circulação de pessoas. Os autores usam um pacote de programas largamente utilizados para análise de imagens astronômicas, o Image Reduction and Analysis Facility (IRAF), explorando o fato de que os problemas de contagem de estrelas e de contagem de trilhas de radônio são bastante relacionados. Os resultados mostram alta correlação entre as contagens manuais e automáticas.

O problema da contagem de trilhas causadas por radônio é também abordado no trabalho de Mitev et al. (2010), porém, neste caso, ao invés

de usar um detector formal, os pesquisadores realizam as medições em *compact discs* (CD), os quais são detectores precisos para esse tipo de radiação. O método é composto por quatro partes principais: escaneamento do CD, remoção do fundo através de limiarização, identificação de objetos através de uma abordagem recursiva, e identificação das trilhas, o que é feito eliminando objetos espúrios e fundindo objetos em trilhas (nem sempre um objeto é uma trilha, às vezes é apenas parte de uma). Por fim, realiza-se a contagem.

Contagem de pintas na pele

Lee et al. (2005) apresentam um sistema para contagem de pintas na pele de seres humanos. Esse procedimento é importante pois é um forte indicador da presença de melanoma. O algoritmo desenvolvido é não-supervisionado e aplicado a imagens em cores bidimensionais das costas dos pacientes. O método usa uma variação da filtragem por deslocamento médio, a qual forma agrupamentos na imagem e remove ruído, um procedimento de crescimento de região para selecionar candidatos, e um classificador baseado em regras para identificar as pintas. A taxa de acerto obtido foi superior a 90%.

Contagem de tarugos de aço

Salis et al. (2006) propõem um método para contagem automática de tarugos de aço na linha de produção de siderúrgicas. Os autores testaram duas metodologias, ambas usando técnicas amplamente utilizadas e discutidas na literatura, como filtragens para remoção de ruído e correção de brilho, limiarização, erosão e dilatação. Os autores reportam bons resultados, embora admitam que haja necessidade de algumas melhorias.

Zhang D. et al. (2008) propõem um método que não apenas conta o número de tarugos, mas realiza automaticamente sua separação física para empacotamento. O método emprega várias ferramentas comumente usadas em processamento de imagens. O algoritmo começa pela redução de ruídos e distúrbios, pela aplicação de um filtro de mediana. A seguir, ele tenta eliminar problemas como inconsistência de cor devido a oxidação e aglutinamento das imagens dos tarugos. Faz-se então uma segmentação por limiar, e finalmente a contagem e separação dos tarugos.

Contagem de circuitos impressos

Wu e Kuo (2009) sugerem um método para contagem de placas de circuitos impressos à medida que estes passam pela linha de produção. O método começa com a eliminação do ruído e conversão da imagem em escala de cinza. A seguir, realiza-se uma amostragem vertical, a qual é usada para cálculo da altura média das placas e do nível de confiança das medidas. Na sequência, faz-se o cálculo do nível de distinção horizontal local. Por fim, calcula-se um novo nível de confiança, o qual serve de base para um sistema de votação que resulta na contagem final das placas.

Contagem de fontes de raios gama

Schaich et al. (1996) propõem um sistema que conta o número de fontes de raios gama detectados em uma imagem e estima o limite inferior para a probabilidade do número de fontes na imagem ser um certo número K . O sistema consiste de um esquema de classificação de padrões de dois estágios no qual uma rede neural probabilística é usada no módulo de aprendizagem supervisionada. O algoritmo foi testado usando imagens reais de raios gama.

Contagem de automóveis

Hinz (2003) propõe um método para contar o número de carros tendo como base uma imagem aérea de determinada área. A extração é baseada num modelo hierárquico 3D que descreve as características geométricas mais proeminentes em cada veículo. A cor do veículo, cor do para-brisas e intensidade da área de sombra são incluídos como atributos radiométricos. O modelo adapta a saliência esperada de acordo com a cor do veículo e a direção de iluminação. A extração dos carros é realizada através do casamento do modelo à imagem. A vantagem desse método é a de não necessitar de informações externas à imagem.

Contagem de rubis em relógios

Nudol (2004) propõe um método para contagem de rubis presentes em mecanismos de relógios. Esses rubis sintéticos são alocados em partes móveis de relógios a fim de melhorar a precisão dos mesmos. O algoritmo proposto usa técnicas convencionais: binarização da imagem, ajuste de brilho e contraste, remoção de artefatos devido a poeira e riscos, e segmentação da imagem usando divisor de águas. Por fim, realiza-se a contagem usando as seguintes informações: área, diâmetro máximo, diâmetro mínimo, direção, intensidade média e centro de gravidade.

Contagem de tramas em quadros de pinturas

Johnson et al. (2009) propõem um método para contagem de tramas em quadros de pinturas, com o objetivo de auxiliar na certificação de procedência e de autoria das obras de arte. A imagem utilizada é obtida através de raio-X, a fim de diminuir a interferência da tinta no processo. O algoritmo emprega uma variante da transformada de Fourier de curto termo no domínio da imagem. Em casos simples, a transformada de Fourier bidimensional revela picos nas frequências verticais e horizontais apropriadas. Em casos mais complicados, picos espúrios podem surgir, obrigando o algoritmo a usar heurísticas capazes de extrair apenas os elementos de interesse.

Contagem de objetos multicoloridos

Vinod e Murase (1997) apresentam um método para contagem de objetos em cenas complexas, tendo como foco a similaridade de cor entre os objetos de interesse. Especial atenção é dispensada à resolução de objetos sobrepostos, e também à definição dos limiares a serem utilizados, os quais são determinados usando um processo probabilístico.

Contagens gerais

Os trabalhos a seguir não possuem uma aplicação de contagem específica, visando propor métodos mais gerais que possam ser usados numa variedade de situações.

Seiler (1990) propõe um método para contagem de pequenos objetos baseado em redes neurais celulares, onde as posições centrais de pequenos padrões com forma, tamanho e orientação conhecidos são localizados em uma imagem, a fim de serem contados. O sistema consiste de três estágios de processamento de imagens em cascata: pré-processamento para filtragem de ruído e melhoria de contraste, casamento de padrões para localização aproximada das posições dos objetos, e isolamento para garantir a unicidade das localizações dos objetos.

Sossa e Guzmán (2000) descrevem um método para contagem automática de objetos em imagens. O número de objetos é obtido em função de duas quantidades: número de pontos terminais (pontos com apenas um vizinho) e número de pontos com três cantos (pontos com três vizinhos), pontos esses extraídos a partir da imagem esquelizada.

Sossa Azuela et al. (2001) propõem um método para a contagem de manchas (blobs) em imagens. O método inicia-se aplicando um limiar à imagem previamente convertida para escalas de cinza. A seguir, o algoritmo processa a imagem de maneira a eliminar alguns problemas comuns nesse tipo de aplicação, como por exemplo o surgimento de buracos parasitas no interior das manchas. Então, os contornos das manchas são detectados. A seguir, o número de pontos de concavidade singulares e o número de conglomerados é determinado. Todas essas informações são submetidas a uma equação, a qual fornece o número final de manchas.

Sossa et al. (2003) propõem uma técnica onde a separação de conglomerados de objetos é realizada implicitamente através do uso de esquelização. A técnica usa também pontos com apenas um vizinho e pontos com três vizinhos na imagem esquelizada para computar o número de objetos na imagem. Segundo os autores, este método é robusto contra ruído e a outros tipos de erros normalmente decorrentes do uso de esquelização.

Apolonio et al. (2006) propõem um algoritmo que pode ser usado na contagem automática de objetos usando atributos selecionados pelos usuários. Os atributos incluem cor, tamanho, formato, orientação e textura, e

o usuário também pode variar o grau de similaridade requerido. O algoritmo é inteiramente baseado na extração de um conjunto de parâmetros, os quais têm por objetivo sintetizar os critérios de busca definidos pelo usuário e selecionar os objetos adequadamente.

Fasih et al. (2008) propõem um método para contagem rápida de objetos baseado em redes neurais celulares. Além das redes neurais, o método faz uso de um número de outras técnicas largamente utilizadas em processamento de imagens, como limiarização, binarização e filtros.

O trabalho apresentado por Pornpanomchai et al. (2008) visa localizar, rastrear e contar objetos em imagens de vídeo. A descrição fornecida no artigo é pouco detalhada, não permitindo uma visão muito clara da implementação do método. Porém, os autores mostram que já há um sistema usando essa tecnologia em operação para organização do trânsito nas ruas de Bangkok.

Subramanian et al. (2009) apresentam um algoritmo para monitorar continuidade, contar objetos e medir parâmetros tais como área através do isolamento de padrões baseado em computações simples. O método é fortemente algorítmico, de modo que descrevê-lo aqui demandaria excessivo espaço. A meta dos autores foi a de reduzir ao máximo as exigências computacionais, tanto em termos de memória quanto de processamento.

Em seu trabalho, Sevgen et al. (2009) descrevem um método para contagem de objetos em geral cujo principal objeto era a velocidade de processamento. O algoritmo proposto pelos autores é baseado em redes neurais celulares e, a fim de aumentar a velocidade de execução, foi implementado em um processador analógico especialmente otimizado para uso com redes neurais celulares.

Em mais um método para contagem geral de objetos, Lempitsky e Zisserman (2010) criaram um esquema que evita a necessidade de detectar e localizar objetos individuais. No lugar, o problema é tratado como a estimação da densidade de imagem cuja integral sobre qualquer região da imagem resulta na contagem de objetos para aquela região. O processo de aprender a inferir essa densidade pode ser formulado como uma minimização de uma função custo quadrática de risco regularizado. Os autores introduzem uma nova função de perda, a qual é ideal para tal aprendizado, além de poder ser computada de maneira eficiente.

Avaliação de desempenho dos algoritmos

O artigo escrito por Wolf e Jolion (2006) não é propriamente sobre a contagem de objetos, mas sim sobre a maneira mais adequada de se avaliar a qualidade dos algoritmos propostos. Os autores afirmam que essa não é uma tarefa trivial. As medidas de precisão e *recall* normalmente utilizadas são computadas a partir da sobreposição da caixa contendo os objetos detectados com a caixa contendo o *ground-truth*. Porém, essas medidas têm várias desvantagens: elas não fornecem informação intuitiva sobre a proporção de objetos corretamente detectados e o número de falsos alarmes, e elas não podem ser acumuladas ao longo de múltiplas imagens sem criar ambiguidade de interpretação. Além disso, avaliações quantitativas e qualitativas são muitas vezes misturadas, resultando em medidas ambíguas. Os autores, neste artigo, descrevem uma abordagem capaz de superar muitos desses problemas.

Conclusão

A Tabela 1 apresenta uma lista de técnicas de processamento digital de imagens, as quais são associadas aos trabalhos que fazem uso delas. Essas técnicas são divididas em 11 categorias para uma melhor interpretação de suas funções. A fim de limitar o tamanho da tabela, apenas o nome do primeiro autor é mencionado, junto com os dois últimos números do ano de publicação.

Na lista de referências apresentadas até aqui, pode-se notar a ausência de alguns detectores de atributos que vêm ganhando espaço no processamento digital de imagens, como o Scale-invariant feature transform (SIFT) (LOWE, 1999), o Gradient Location and Orientation Histogram (GLOH) (MIKOLAJCZYK; SCHMID, 2005) e o Speeded Up Robust Feature (SURF) (BAY et al., 2006), sendo os dois últimos derivados do primeiro. Esses algoritmos são compostos, basicamente, por duas etapas. Na primeira, são detectados os pontos considerados mais relevantes na imagem, os quais normalmente fazem parte dos objetos de interesse. Em seguida, para cada um desses pontos são extraídos atributos que visam caracterizar sua vizinhança. Esses atributos descritores foram projetados para serem insensíveis a mudanças de escala, orientação e iluminação, sendo também

parcialmente insensíveis a distorções afins. Portanto, se esses descritores pudessem ser usados na caracterização e identificação dos objetos a serem contados, restrições relacionadas ao ângulo de captura da imagem, iluminação e orientação dos objetos não seriam mais necessárias. Apesar disso, embora esse tipo de abordagem seja largamente utilizada em problemas de detecção de objetos individuais, sua utilização na identificação e contagem de um grande número de objetos permanece limitada (LEMPITSKY; ZISSERMAN, 2010). Por esse motivo, seu uso ainda não se popularizou no contexto da contagem de objetos.

O problema da contagem de objetos ainda está longe de ser resolvido. Virtualmente todos os métodos propostos até o momento possuem certas restrições que limitam sua aplicabilidade. Em primeiro lugar, quase todos os métodos propostos foram desenvolvidos em um contexto de aplicação muito específico, ou seja, foram desenvolvidos para contar um certo tipo de objeto, não sendo capazes de se adaptar a situações em que as imagens e os objetos possuem características diferentes daquelas para as quais foram treinados. Além disso, a maioria das propostas não é capaz de lidar com situações em que os objetos se tocam ou se sobrepõem e normalmente as imagens devem ser capturadas ortogonalmente ao plano no qual se encontram os objetos.

Apesar dessas limitações, ainda não é possível observar ações no sentido de desenvolver métodos mais gerais e menos sujeitos a restrições. Ao contrário, o que se observa é o constante surgimento de métodos voltados à solução de problemas de contagem ainda não contemplados na literatura, ou cujas soluções existentes sejam deficientes. Esse fato revela que ainda há muito espaço para novas ideias e soluções, especialmente se estas se revelarem mais gerais e menos dependentes de condições específicas para funcionarem adequadamente. Existem diversas possíveis abordagens para se alcançar tal objetivo, como explorar de maneira eficiente a informação oferecida por métodos do tipo SIFT, o uso de métodos mais sofisticados para combinação de atributos extraídos por meio de diferentes ferramentas, e a utilização de heurísticas capazes de oferecer maior robustez à estratégia adotada.

Tabela 1. Resumo dos trabalhos apresentados e das técnicas utilizadas.

Categoria	Técnica	Propostas
Operações Morfológicas	Dilatação	Barber01, Poomcokrak08, Cosío03, Hamghalam09, Embleton03, Salis06, Skodras09
	Erosão	Poomcokrak08, Salis06, Mauricio10, Stajanko04, Shen07, Yan08
	Fechamento	Skodras09, Refai03, Lippold07, Goyal08, Mello08, Ahn09, Bazi09, Toh09, Zhao09, Pedrosa11
	Abertura	Bazi09, Zhao09, Pedrosa11, Bewes08, Wijethunga08
	Esqueletização	Embleton03, Lippold07, Sossa00, Sossa03, Gajendran04
	Preenchimento de buracos	Poomcokrak08, Embleton03, Goyal08, Kothari09, Han10, Zhang10, Azuela01
Filtragem	Mediana	Embleton03, Skodras09, Gajendran04, D'Souza07, Han10, Zhang10, Arce05, Flores08, Su08, Dahle04, Nudol04, Prasad07, Ates09, Vibha09, Shen10
	Média	Salis06, Shen07, Wijethunga08, Kothari09, Dahle04, Marotz01, Zhang08
	Gaussiana	Cosío03, Bewes08, Kumagai08, Zhou10
	Laplaciana	Flores08, Dahle04, Netten96
	Laplacianada Gaussiana	Cosío03
	Adaptativo	Chen99, Deng08
Melhora de contraste	Normalização	Poomcokrak08, Skodras09, Refai03, Pedrosa11, Shen10, Marotz01
	Equalização por histograma	Yan08, Zhang10, Wu09, Zhang08, Karel94
	Análise de compon. principais	Loukas03
Transformadas	Hough	Barber01, Bewes08, Syed08, Xiong09, Smereka08, Lou10
	Distância	Zhao09, Nguyen10, Men08, Mukherjee95
	Fourier	Johnson09
	Wavelet	Bernal08, Gao08, Tai08
	Curvelet	Tai08
	Top-hat	Salis06, Netten96
Radial rápida	Schier11	

Continua...

Tabela 1. Continuação

Categoria	Técnica	Propostas
Detecção de bordas	Sobel	Barber01, Poomcokrak08
	Canny	Toh09, González07
	Laplaciana da Gaussiana	Loukas03, Nasution08
	Prewitt	Prasad07
	Contorno sativos	Theerapattanakul04
	Difusão complexa	Miranda09
Segmentação e classificação	Limiarização	Goin90, Cordiki98, Embleton03, Salis06, Mauricio10, Stajanko04, Pedrosa11, Benali03, Osowsky01, Sossa03, Gajendran04, Zhang10, Ates09, Deng08, Zhang08, Nguyen10, Xiong09, Refai03, Flores08, Shen10, Marotz01, Fang03, Mitev10, Hanghalam09, Dahle04, Loukas03, Gao08, Lucarini04, Skodras09, Gajendran04, Netten96, Mello08, Zhang08, Kumagai08, Zhang08, Ren10, Tek10, Cosío03, Shen07, Yan08, Ahn09, Toh09, Sossa00, Azuela01, Nudol04, Vibha09, Costa09, Ren10, Bechar97, Pompanomchai08
	Divisor de águas	Cosío03, Skodras09, Nudol04, Ates09, Chen99, Deng08, Costa09, Men08, Gao08, Nasution08, Selinummi05, Fang03, Chen08
	Casamento de <i>template</i>	Kothari09, Vibha09, Zhang08, Forshaw95, Hinz03, Shimada05
	Componentes conectados	Yan08, Mello08, Ahn09, Gusmão09, Men08, Mukherjee95, Tai08, Nasution08, Lucarini04, Ishizu08
	Redes neurais	Poomcokrak08, Embleton03, Su08, Zhou10, Nasution08, Comunello99, Seiler90, Feng06, Fasih08, Sevgen09, Schaich96

Referências

AHN, I.; ZO, M. M.; KIM, C. A robust bread defect detection and counting system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMMUNICATION TECHNOLOGY, 11., 2009, Gangwon-Do. *Proceedings...* Gangwon: IEEE, 2009. p. 1315–1320. ICACT2009.

APOLONIO, D. R. T.; CRUZ, M. F. G.; SIA, J. N.; WONG, E. W.; ILAO, J. P. *Automated object counting with multiple user-defined criteria*, 2006. Disponível em : <http://up-diliman.academia.edu/Joelllao/Papers/581206/Automated_Object_Counting_with_Multiple_User-defined_Criteria>. Acesso em: 29 maio 2012.

ARAMBULA COSIO, F.; MARQUEZ FLORES, J. A.; PADILLA CASTANEDA, M. A.; SOLANO, S.; TATO, P. Automatic counting of immunocytochemically stained cells. In: ANUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 25., 2003, Cancun. *A new beginning for human health: proceedings*. Piscataway: IEEE, 2003. p. 790–793.

ATES, H.; GEREK, O. N. An image-processing based automated bacteria colony counter. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER AND INFORMATION SCIENCES, 24., 2009, Guzelyurt, Cyprus. *Proceedings...* [Piscataway]: IEEE, 2009. p. 18–23. ISCIS 2009.

AYDEMIR, S.; KESKIN, S.; DREES, L. R. Quantification of soil features using digital image processing (DIP) techniques. *Geoderma*, Amsterdam, v. 119, n. 1–2, p. 1–8, mar. 2004.

BARBER, P. R.; VOJNOVIC, B.; KELLY, J.; MAYES, C. R.; BOULTON, P.; WOODCOCK, M.; JOINER, M. C. Automated counting of mammalian cell colonies. *Physics In Medicine and Biology*, Bristol, v. 46, n. 1, p. 63–76, Jan. 2001.

BAY, H.; TUYTELAARS, T.; GOOL, L. van. SURF: Speeded Up Robust Features. In: EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTER VISION, 9., 2006, Grass. *Proceedings...* New York: Springer, 2006. p. 404–417. (Lecture notes in computer science, v. 3951).

BAZI, Y.; AL-SHARARI, H.; MELGANI, F. An automatic method for counting olive trees in very high spatial remote sensing images. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2009, Cape Town. *Proceedings...* Cape Town: University of Cape Town, 2009. p. 125–128.

BECHAR, A.; GAN-MOR, S.; VAKNIN, Y.; SHMULEVICH, I.; RONEN, B.; EISIKOWITCH, D. An image-analysis technique for accurate counting of pollen on stigmas. *New Phytologist*, Cambridge, v. 137, n. 4, p. 639–643, Dec. 1997.

BENALI, A.; LEEFKEN, I.; EYSEL, U. T.; WEILER, E. A computerized image analysis system for quantitative analysis of cells in histological brain sections. *Journal of Neuroscience Methods*, Amsterdam, v. 125, n. 1–2, p. 33–43, May, 2003.

BERNAL, A. J.; FERRANDO, S. E.; BERNAL, L. J. Cell recognition using wavelet templates. In: CANADIAN CONFERENCE ON ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING, 2008, Niagara Falls. *Proceedings...* New York: IEEE, 2008. p. 1219–1222.

BEWES, J. M.; SUCHOWERSKA, N.; MCKENZIE, D. R. Automated cell colony counting and analysis using the circular Hough image transform algorithm (ChiTA). *Physics in Medicine and Biology*, Bristol, v. 53, n. 21, p. 5991–6008, Nov. 2008.

CAMARGO NETO, J.; MIRANDA, J. I. Orange tree counting and canopy diameter estimation with genetic algorithm. *Acta Horticulturae*, The Hague, v. 824, p. 29–36, Apr. 2009.

CHAN, A. B.; LIANG, Z.-S. J.; VASCONCELOS, N. Privacy preserving crowd monitoring: Counting people without people models or tracking. In: IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 26., 2008, Anchorage. *Proceedings...* New York: IEEE, 2008. p. 1–7.

CHEN, W.-B.; ZHANG, C. Bacteria colony enumeration and classification for clonogenic assay. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MULTIMEDIA, 10., 2008, Berkeley. *Proceedings...* New York, 2008. p. 487–488.

CHEN, Y.; BIDDELL, K.; SUN, Y.; RELUE, P. A.; JOHNSON, J. D. An automatic cell counting method for optical images. In: JOINT BMES/EMBS CONFERENCE, 1., 1999, Atlanta. *Serving humanity advancing technology: proceedings*. Piscataway: IEEE, 1999. p. 819.

COINTAULT, F.; GOUTON, P. Texture or color analysis in agronomic images for wheat ear counting. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIGNAL-IMAGE TECHNOLOGIES AND INTERNET BASED SYSTEM, 3., 2007, Shanghai. *Proceedings...* Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2007. p. 696–701.

COMUNELLO, E.; WANGENHEIM, A.; BARRETO, J. M.; BORGES, P. S.; WILLE, P. R.; BITTENCOURT, P. C.; KRECHEL, D.; FABER, K. CT scans with neurocysticercosis in epileptics patients: a computer-based method for detection and quantification. In: IEEE SYMPOSIUM ON COMPUTER-BASED MEDICAL SYSTEMS, 12., 1999, Stamford. *Proceedings...* Los Alamitos: IEEE Computer Society, 1999. p. 42–47.

CORDIKI, G.; DIAZ-URIBE, R.; FOLCH-MALLOL, J. L.; NIETO-SOTELO, J. COVASIAM: an image analysis method that allows detection of confluent microbial colonies and colonies of various sizes for automated counting. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, v. 64, n. 4, p. 1400–1404, Apr. 1998.

COSTA, C. M.; YANG, S. Counting pollen grains using readily available, free image processing and analysis software. *Annals of Botany*, London, v. 104, n. 5, p. 1005-1010, Oct. 2009.

DAHLE, J.; KAKAR, M.; STEEN, H.B; KAALHUS, O. Automated counting of mammalian cell colonies by means of a flat bed scanner and image processing. *Cytometry Part A*, Hoboken, v. 60, n. 2, p. 182–188, Ago. 2004.

DENG, Y.; WANG, Y.; CHEN, P. Automated detection of polycystic ovary syndrome from ultrasound images. In: ANUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 30., 2008, Vancouver. *Proceedings...* New York: IEEE, 2008. p. 4772–4775.

DISPERATI, A. A.; DANTOS, J. R. dos; OLIVEIRA FILHO, P. C. de; NEEFF, T. Aplicação da técnica “filtragem de locais máximas” em fotografia aérea digital para a contagem de copas em reflorestamento de *Pinus elliottii*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 76, p. 45–55, dez. 2007.

D’SOUZA, A. C. *Automated counting of cell bodies using Nissl stained cross-sectional images*. 2007. 99 p. Dissertação (Mestrado) — Texas A&M University, Texas, 2007.

EMBLETON, K. V.; GIBSON, C. E.; HEANEY, S. I. Automated counting of phytoplankton by pattern recognition: a comparison with a manual counting method. *Journal of Plankton Research*, London, v. 25, n. 6, p. 669–681, Jun. 2003.

FANG, B.; HSU, W.; LEE, M. L. On the accurate counting of tumor cells. *IEEE Transactions on Nanobioscience*, New York, v. 2, n. 2, p. 94–103, Jun. 2003.

FASIH, A.; CHEDJOU, J.; KYAMAKYA, K. Ultra fast object counting based-on cellular neural network. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON NONLINEAR DYNAMICS AND SYNCHRONIZATION, 1., 2008, Klagenfurt. *Proceedings...* Klagenfurt: University of Klagenfurt. p. 181–183.

FENG, Q.; YU, S.; WANG, H. An new automatic nucleated cell counting method with improved cellular neural networks (ICNN). In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CELLULAR NEURAL NETWORKS AND THEIR APPLICATION, 10., 2006, Istanbul. *Proceedings...* New York: IEEE, 2006. p. 1–4.

FLORES, A.; CRISÓSTOMO, P.; LÓPEZ, J. Peruvian scallop larvae counting system using image processing techniques. In: INTERNATIONAL CARIBBEAN CONFERENCE ON DEVICES, CIRCUITS AND SYSTEMS, 7., 2008, Cancún. *Proceedings...* New York: IEEE, 2008. p. 1–4.

FORSHAW, M. R. B.; WILES, C. R. Counting volcanoes on Venus: comparison between humans, computers and theory. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING AND ITS APPLICATIONS, 5., 1995, Edinburgh. *Proceedings...* Edinburgh: Heriot-Watt University, 1995. p. 65–69.

GAO, W.; TANG, Y.; LI, X. Segmentation of microscopic images for counting leukocytes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOINFORMATICS AND BIOMEDICAL ENGINEERING, 2., 2008, Shanghai. *Proceedings...* New York: IEEE, 2008. p. 2609–2612.

GOIN, J. E.; KLINE, D. R.; HIPPE, M. J. Classification models for the counting of cellular objects. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, New York, v. 20, n. 1, p. 283–291, Jan./Feb. 1990.

GONZÁLEZ, J.; GALINDO, C.; AREVALO, V.; AMBROSIO, G. Applying image analysis and probabilistic techniques for counting olive trees in high-resolution satellite images. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ADVANCED CONCEPTS FOR INTELLIGENT VISION SYSTEM 9., 2007, Delft. *Proceedings...* Berlin: Springer, 2007. p. 920–931. (Lecture notes in computer sciences, v. 4678).

GOYAL, M. *Machine vision based bacteria-colony counter*. 2008. 98 p. Dissertação (Mestrado) — Thapar University, India.

GUJENDRAN, V.; RODRIGUEZ, J. J. Chromosome counting via digital image analysis. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING, 2004, Singapore. *Proceedings...* New York: IEEE, 2004. p. 2929–2932.

GUSMÃO, G.; MACHADO, S. C. S.; RODRIGUES, M. A. B. A new algorithm for segmenting and counting *Aedes aegypti* eggs in ovitraps. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 31., 2009, Minneapolis. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2009. p. 6714–6717.

HAMGHALAM, M.; AYATOLLAHI, A. Automatic counting of leukocytes in Giemsa-stained images of peripheral blood smear. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL IMAGE PROCESSING, Bangkok, 2009. *Proceedings...* Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2009. p. 13–16.

HAN, Z.-Z.; LI, Y.-Z.; ZANG, J.-P.; ZHAO, Y.-G. Counting ear rows in maize using image process method. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMPUTING, 3., 2010, Wuxi. *Proceedings...* Washington, DC: IEEE Computer Society, 2010. v. 3, p. 329–332.

HERNÁNDEZ, F.; GONZALEZ-MANRIQUE, S.; KARLSSON, L.; HERNÁNDEZ-ARMAS, J.; APARICIO, A. Counting radon tracks in Makrofol detectors with the image reduction and analysis facility (IRAF) software package. *Radiation Measurements*, Oxford, v. 42, n. 3, p. 496–504, Mar. 2007.

HINZ, S. Detection and counting of cars in aerial images. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING, 2003, Barcelona. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2003. p. 997–1000.

HOU, Y. L.; PANG, G. K. H. People counting and human detection in a challenging situation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, New York, v. 41, n. 1, p. 24-33, Jan. 2011.

ISHIZU, K.; TAKEMURA, H.; KAWABATA, K.; ASAMA, H.; MISHIMA, T.; MIZOGUCHI, H. Image processing of particle detection for asbestos qualitative analysis support method - particle counting system based on classification of background area. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL, AUTOMATION, ROBOTICS AND VISION, 10., 2008, Hanoi. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2008. p. 868-873.

JOHNSON, D. H.; JOHNSON JUNIOR, C. R.; KLEIN, A. G.; SETHARES, W. A.; LEE, H.; HENDRIKS, E. A thread counting algorithm for art forensics. In: IEEE Digital Signal Processing Workshop, 13.; IEEE SIGNAL PROCESSING EDUCATION WORKSHOP, 5., 2009, Marco Island. *Proceedings...* New York: IEEE, 2009. p. 679-684.

KING, M. A.; SCOTTY, N.; KLEIN, R. L.; MEYER, E. M. Particle detection, number estimation and feature measurement in gene transfer studies: optical fractionator stereology integrated with digital image processing and analysis. *Methods*, San Diego, v. 28, n. 2, p. 293-299, Oct. 2002.

KOTHARI, S.; CHAUDRY, Q.; WANG, M. D. Automated cell counting and cluster segmentation using concavity detection and ellipse fitting techniques. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOMEDICAL IMAGING: FROM NANO TO MACRO, 6., 2009, Boston. *Proceedings...* Piscataway, NJ: IEEE, 2009. p. 795-798.

KUMAGAI, H.; MORISHITA, S.; KUNIYAKI, K.; ASAMA, H.; MISHIMA, T. Accuracy improvement of counting asbestos in particles using a noise redacted background subtraction. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTISENSOR FUSION AND INTEGRATION FOR INTELLIGENT SYSTEMS, 7., 2008, Seoul. *Proceedings...* Berlin: Springer, 2008. p. 74-79.

LEE, T. K.; ATKINS, M. S.; KING, M. A.; LAU, S.; MCLEAN, D. I. Counting moles automatically from back images. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, New York, v. 52, n. 11, p. 1966-1969, Nov. 2005.

LEMPITSKY, V.; ZISSERMAN, A. Learning to count objects in images. In: ANNUAL CONFERENCE ON NEURAL INFORMATION PROCESSING SYSTEMS, 24., 2010, Vancouver. *Proceedings...* Vancouver: Hyatt Regency, 2010. p. 1-9.

LI, L.; QI, D. Detection of cracks in computer tomography images of logs based on fractal dimension. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION AND LOGISTICS, Jinan, 2007. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2007. p. 2259-2264.

LIPPOLD, L.; MARPU, P. R.; GLOAGUEN, R.; JONCKHEERE, R. Automatic counting of fission tracks using object-based image analysis for dating applications. In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2007, Barcelona. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2007. p. 440–443.

LOUKAS, C. G.; WILSON, G. D.; VOJNOVIC, B.; LINNEY, A. An image analysis-based approach for automated counting of cancer cell nuclei in tissue sections. *Cytometry - Part A*, Hoboken, v. 55, n. 1, p. 30–42, Sept. 2003.

LOWE, D. G. Object recognition from local scale-invariant features. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER VISION, 1999, Corfu. *Proceedings...* Berlin: Springer-Verlag, 1999. p. 1150–1157.

LU, Y.; QIN, S. Stored-grain insect image processing based on a Hidden Markov Model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL AND CONTROL ENGINEERING. 7., 2010, Wuhan. *Proceedings...* Washington, DC: IEEE Computer Society, 2010. p. 1997–2000.

LUCARINI, A. C.; SILVA, L. A.; BIANCHI, R. A. C. Um sistema para contagem semi-automática de microorganismos. *Pesquisa e Tecnologia*, São Bernardo do Campo, v. 26, p. 36–40, 2004.

MAROTZ, J.; LÜBBERT, C.; EISENBEISS, W. Effective object recognition for automated counting of colonies in Petri dishes (automated colony counting). *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Amsterdam, v. 66, n. 2-3, p. 183–198, Sept. 2001.

MAURICIO, C. R. M.; SCHNEIDER, F. K.; SANTOS, L. Image-based red cell counting for wild animals blood. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 32., 2010, Buenos Aires. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2010. p. 438–441.

MELLO, C. A. B.; SANTOS, W. P. dos; RODRIGUES, M. A. B.; CANDEIAS, A. L. B.; GUSMÃO, C. M. G. . Image segmentation of ovitraps for automatic counting of aedes aegypti eggs. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 30., 2008, Vancouver. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2008. p. 3103–3106.

MEN, H.; WU, Y.; LI, X.; KOU, Z.; YANG, S. Counting method of heterotrophic bacteria based on image processing. In: IEEE CONFERENCE ON CYBERNETICS AND INTELLIGENT SYSTEMS, 7., 2008, Chengdu. *Proceedings...* London: IEEE: Piscataway, 2008. p. 1238–1241.

MEZEI, S.; DARABANT, A. S. A computer vision approach to object tracking and counting. *Informatica*, Ljubljana, v. 55, n. 3, p. 121–130, 2010.

MIKOLAJCZYK, K.; SCHMID, C. A performance evaluation of local descriptors. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, New York, v. 27, n. 10, p. 1615-1630, Oct. 2005.

MIRANDA, J. I.; CAMARGO NETO, J.; OLIVEIRA, V. H. de; ASSAD, E. D. GeoCaju – um software para contagem não supervisionada de pés de caju. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. *Anais...* São José dos Campos: Inpe, 2009. p. 6967-6973.

MITEV, K.; MADZHUNKOV, Y.; GERGANOV, G.; DIMITROVA, I.; GEORGIEV, S.; PRESSYANOV, D. Automatic counting of electrochemically etched tracks in compact discs. application to retrospective measurements of Rn-222. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, New York, v. 57, n. 1, Feb. 2010.

MONTSENY, E.; SOBREVILLA, P.; ROMANI, S. A fuzzy approach to white blood cells segmentation in color bone marrow images. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUZZY SYSTEMS, 13., 2004, Budapest. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2004. p. 173–178.

MORAIS, E. F.; CAMPOS, M. F. M.; PÁDUA, F. L. C.; CARCERONI, R. L. Particle filter-based predictive tracking for robust fish counting. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON COMPUTER GRAPHICS AND IMAGE PROCESSING, 18., 2005, Natal. *Proceedings...* Natal: SBC, 2005. p. 367–374.

MUKHERJEE, D. P.; PAL, A.; SARMA, S. E.; MAJUMDER, D. D. Bacterial colony counting using distance transform. *International Journal of Bio-medical Computing*, Limerick, v. 38, n. 2, p. 131–140, Feb. 1995.

MUSSIO, P.; PIETROGRANDE, M.; BOTTONI, P.; DELL'OCA, M.; AROSIO, E.; SARTIRANA, E.; FINANZON, M. R.; N.DIOGUARDI, N. Automatic cell count in digital images of liver tissue sections. In: IEEE SYMPOSIUM ON COMPUTER-BASED MEDICAL SYSTEMS, 4., 1991, Baltimore. *Proceedings...* Los Alamitos: IEEE Computer Society, 1991. p. 153–160.

NASUTION, A. M. T.; SURYANINGTYAS, E. K. Comparison of red blood cells counting using two algorithms: Connected component labeling and backprojection of artificial neural network. In: PHOTONICS GLOBAL CONFERENCE, 2008, Singapore. *Proceedings...* Singapore: Nanyang Technological University, 2008. p. 1-4.

NETTEN, H.; VLIET, L. J. van; VROLIJK, H.; SLOOS, W. C. R.; TANKE, H. J.; YOUNG, I. T. Fluorescent dot counting in interphase cell nuclei. *Bioimaging*, Handayama, v. 4, n. 2, p. 93–106, June, 1996.

NGUYEN, N.-T.; DUONG, A.-D.; VU, H.-Q. A new method for splitting clumped cells in red blood images. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE AND SYSTEMS ENGINEERING, 2., 2010, Hanoi. *Proceedings...* Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2010. p. 3–8.

NIYAZI, M.; NIYAZI, I.; BELKA, C. Counting colonies of clonogenic assays by using densitometric software. *Radiation Oncology*, London, v. 2, n. 1, Jan. 2007.

NUDOL, C. Automatic jewel counting using template matching. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGY, 4., 2004, Sapporo. Smart info-media systems: *proceedings*. Piscataway: IEEE, 2004. p. 654–658.

O'DONNELL, T. K.; GOYNE, K. W.; MILES, R. J.; BAFFAUT, C.; ANDERSON, S. H.; SUDDUTH, K. A. Identification and quantification of soil redoximorphic features by digital image processing. *Geoderma*, Amsterdam, v. 157, n. 3-4, p. 86–96, July, 2010.

OSOWSKY, J.; GAMBA, H. R. Sistema automático para contagem de colônias em placas de Petri. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 131–139, set./dez. 2001.

PEDROSA, M. M.; PINA, P.; SILVA, A. E. A. da; NOGUEIRA, J. R. Detecção de crateras de impacto na superfície marciana por meio de técnicas de Morfologia Matemática. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. *Anais...* São José dos Campos: Inpe, 2011. p. 7698–7704.

POOMCOKRAK, J.; NEATPISARNVANIT, C. Red blood cells extraction and counting. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOMEDICAL ENGINEERING, 3., 2008, Bangkok. *Proceedings...* [S.l: s.n.], 2008. p. 199–203.

PORNPANOMCHAI, C.; STHEITSTHIENCHAI, F.; RATTANACHUEN, S. Object detection and counting system. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON IMAGE AND SIGNAL PROCESSING, 1., 2008, Sanya. *Proceedings...* Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2008. , 2008. p. 61–65.

PRASAD, B.; BADWY, W. High throughput algorithm for leukemia cell population statistics on a hemocytometer. In: IEEE BIOMEDICAL CIRCUITS AND SYSTEMS CONFERENCE, 2007, Montreal. *Proceedings...* [Piscataway]: IEEE, 2007. p. 27–30.

REFAI, H.; LI, L.; TEAGUE, T. K.; NAUKAM, R. Automatic count of hepatocytes in microscopic images. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING, 2003, Barcelona. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2003. p. 1101–1104.

REN, Y.; WEN, P.; LI, S.; LIANG, Y.; HUANG, W. An improved algorithm of rat sperm image segmentation and counting. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT COMPUTING AND INTEGRATED SYSTEMS, Guilin, 2010. *Proceedings...* [Piscataway]: IEEE, 2010. p. 201–204.

RUZ, G. A.; ESTÉVEZ, P. A.; PEREZ, C. A. A neurofuzzy color image segmentation method for wood surface defect detection. *Forest Products Journal*, Madison, v. 55, n. 4, p. 52–58, Apr. 2005.

SALIS, T. T.; PEREIRA, G. A. S. *Contagem Automática de Tarugos de Aço por Meio de Visão Computacional*. 2006. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SCHAICH, P. C.; CLARK, G. A.; SENGUPTA, S. K.; ZIOCK, K.-P. Automatic image analysis for detecting and quantifying gamma-ray sources in coded-aperture images. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, New York, v. 43, n. 4, p. 2419–2426, Aug. 1996.

SCHIER, J.; KOVAR, B. Automated counting of yeast colonies using the fast radial transform algorithm. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOINFORMATICS MODELS, METHODS AND ALGORITHMS, 2011, Rome, *Proceedings...* Setúbal: INSTICC, 2011. p. 22–27.

SCHÖNHOLZER, F.; HAHN, D.; ZARDA, B.; ZEYER, J. Automated image analysis and in situ hybridization as tools to study bacterial populations in food resources, gut and cast of *Lumbricus terrestris* L. *Journal of Microbiological Methods*, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 53–68, Jan. 2002.

SEILER, G. Small object counting with cellular neural networks. In: IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON CELLULAR NEURAL NETWORKS AND THEIR APPLICATIONS, 1990, Budapest. *Proceedings...* [New York]: IEEE, 1990. p. 114–123.

SELINUMMI, J.; SARKANEN, J. R.; NIEMISTÖ, A.; LINNE, M. L.; YLIKOMI, T.; YLI-HARJA, O.; JALONEN, T. O. Quantification of vesicles in differentiating human SH-SY5Y neuroblastoma cells by automated image analysis. *Neuroscience Letters*, Limerick, v. 396, n. 2, p. 102–1076, Mar. 2006.

SELINUMMI, J.; SEPPÄLÄ, J.; YLI-HARJA, O.; PUHAKKA, J. A. Software for quantification of labeled bacteria from digital microscope images by automated image analysis. *BioTechniques*, Natick, v. 39, n. 6, p. 859–862, Dec. 2005.

SEVGEN, S.; KARABIBER, F.; YUCEL, E.; ARIK, S. Implementation of a CNN based object counting algorithm on bi-i cellular vision system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING, 6., 2009, Bursa, *Proceedings...* [Piscataway]: IEEE, 2009. p. 394–397.

SHEN, W.-Z.; ZHANG, C.-L.; CHEN, Z.-L. Research on automatic counting soybean leaf aphids system based on computer vision technology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING AND CYBERNETICS, 6., 2007, Hong Kong. *Proceedings...* [Piscataway]: IEEE, 2007. p. 1635–1638.

SHEN, W.-Z.; JIE, Z.; WU, Y.-C.; HUI, Z. Experimental study for automatic colony counting system based on image processing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER APPLICATION AND SYSTEM MODELING, 2010, Taiyuan. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2010. p. 612–615.

- SHIMADA, T.; KATO, K.; KAMIKOUCHI, A.; ITO, K. Analysis of the distribution of the brain cells of the fruit fly by an automatic cell counting algorithm. *Physica A. Theoretical and statistical physics*, Amsterdam, v. 350, n. 1, p. 144–149, May, 2005.
- SKODRAS, A.; GIANNAROU, S.; FENWICK, M.; FRANKS, S.; STARK, J.; HARDY, K. Object recognition in the ovary: Quantification of oocytes from microscopic images. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL SIGNAL PROCESSING, 16., 2009, Santorini. *Proceedings...* [Piscataway]: IEEE, 2009. p. 1–6.
- SOKKARIE, A.; OSBORNE, J. Object counting and sizing. In: IEEE SOUTHEASTCON, 1994, *Proceedings...* [Piscataway]: IEEE, 1994. p. 380–382.
- SOSSA, H.; GUZMAN, G. New method to count objects into an image. In: International Conference on Pattern Recognition, 15., 2000, Istanbul. *Proceedings...* Los Alamitos: IEEE, 2000, p. 470–473.
- SOSSA, H.; GUZMÁN, G.; POGREBANYAK, O.; CUEVAS, F. Object counting without conglomerate separation. In: MEXICAN INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE, 4., 2003, Tlaxcala. *Proceedings...* Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2003. p. 216–220.
- SOSSAAZUELA, J. H.; GUZMÁN LUGO, G.; SOTELO RANGEL, R. Counting the number of blobs in an image. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING, 2001, Thessaloniki. *Proceedings...* New York: IEEE, 2001. v. 1. p. 1086–1089.
- STAJNKO, D.; LAKOTA, M.; HOCEVAR, M. Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, New York, v. 42, n. 1, p. 31–42, Jan. 2004.
- SU, M.-J.; WANG, Z.-B.; ZHANG, H.-J.; MA, Y.-D. A new method for blood cell image segmentation and counting based on PCNN and autowave. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMMUNICATIONS, CONTROL AND SIGNAL PROCESSING, 3., 2008, St Julians. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2008, p. 6–9.
- SUBRAMANIAN, S.; BHADRINARAYANA, L. V. A memory efficient algorithm for real time object counting. In: IEEE INTERNATIONAL ADVANCED COMPUTING CONFERENCE, 2009, Patiala. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2009. p. 245–248.
- SUN, N.; XU, S.; CAO, M.; LI, J. Segmenting and counting of wall-pasted cells based on Gabor filter. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 27., 2005, Shanghai. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2005. p. 3324–3327.
- SYED, T. Q.; VIGNERON, V.; LELANDAIS, S.; BARLOVATZ-MEIMON, G.; MALO, M.; CHARRIERE-BERTRAND, C.; MONTAGNE, C. Detection and counting

of in vivo cells to predict cell migratory potential. In: WORKSHOP ON IMAGE PROCESSING THEORY, TOOLS & APPLICATIONS, 2008, Sousse. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, , 2008. p. 1–8.

TAI, Z.; CHENG, S. Automatic fluorescent dot counting in interphase cell nuclei using basis pursuit image analysis. In: IEEE REGION 5 CONFERENCE, 2008, Kansas City. *Proceedings...* [Piscataway]: IEEE, 2008. p. 1.

TEK, F. B.; DEMPSTER, A. G.; KALE, I. Parasite detection and identification for automated thin blood film malaria diagnosis. *Computer Vision and Image Understanding*, San Diego, v. 114, n. 1, p. 21–32, Jan. 2010.

THEERAPATTANAKUL, J.; PLODPAI, J.; PINTAVIROOJ, C. An efficient method for segmentation step of automated white blood cell classifications. In: IEEE REGION 10 CONFERENCE, 2004, Chiang Mai. *Analog and digital techniques in electrical engineering: proceedings*. Piscataway: IEEE, 2004. p. 191–194. TENCON, 2004.

THEERA-UMPON, N.; DOUGHERTY, E. R.; GADER, P. D. Non-homothetic granulometric mixing theory with application to blood cell counting. *Pattern Recognition*, Ezmsford, v. 34, n. 12, p. 2547–2560, Dec. 2001.

TOH, Y. H.; NG, T. M.; LIEW, B. K. Automated fish counting using image processing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND SOFTWARE ENGINEERING, 2009, Wuhan. *Proceedings...* [Piscataway: IEEE], 2009. p. 1–5.

TSANKOV, L.; PRESSYANOV, D.; MITEV, K.; GEORGIEV, S.; I. DIMITROVA, I. Automatic counting of chemically etched tracks by means of a computer scanner. *Radiation Measurements*, Oxford, v. 39, n. 5, p. 557–559, Oct. 2005.

VIBHA, L.; SHENOY, P. D.; VENUGOPAL, K. R.; PATNAIK, L. M. Robust technique for segmentation and counting of trees from remotely sensed data. In: IEEE INTERNATIONAL ADVANCE COMPUTING CONFERENCE, 2009, Patiala. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2009. p. 1437–1442.

VINOD, V. V.; MURASE, H. Counting multi-colored objects using active search. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION, COMMUNICATIONS AND SIGNAL PROCESSING, 1., 1997, Singapore. *Proceedings...* Singapore: Nanyang Technological University, 1997. p. 185–189.

WENZHONG, Y.; SHUQUN, S. An automatic counting algorithm for chromosomes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOINFORMATICS AND BIOMEDICAL ENGINEERING, 2008, Shanghai. *Proceedings...* New York: IEEE, 2008, 2008. p. 2492–2494.

WIJETHUNGA, P.; SAMARASINGHE, S.; KULASIRI, D.; WOODHEAD, I. M. Digital image analysis based automated kiwifruit counting technique. In: INTERNATIONAL

CONFERENCE ON IMAGE AND VISION COMPUTING, 23., 2008, Christchurch. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2008. p. 1-6.

WOLF, C.; JOLION, J. M. Object count/area graphs for the evaluation of object detection and segmentation algorithms. *International Journal of Document Analysis and Recognition*, Berlin, v. 8, n. 4, p. 280–296, Sept. 2006.

WU, B.; NEVATIA, R.; LI, Y. Segmentation of multiple, partially occluded objects by grouping, merging, assigning part detection responses. In: IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 2008, Anchorage. *Proceedings...* [Piscataway]: IEEE, 2008. p. 1–8.

WU, P. H.; KUO, C. H. A counting algorithm and application of image-based printed circuit boards. *Tamkang Journal of Science and Engineering*, Taiwan, v. 12, n. 4, p. 471–479, Dec. 2009.

XIONG, W.; ONG, S. H.; KANG, C.; LIM, J. H.; LIU, J.; RACOCEANU, D.; FOONG, K. Cell clumping quantification and automatic area classification in peripheral blood smear images. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOMEDICAL ENGINEERING INFORMATICS, 2., 2009, Tianjin. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2009. 5 p.

ZHANG C.; CHEN, W.-B.; LIU, W.-L.; CHEN, C.-B. An automated bacterial colony counting system. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SENSOR NETWORKS, UBIQUITOUS, AND TRUSTWORTHY COMPUTING, 2008, Taichung. *Proceedings...* Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2008. p. 233–240.

ZHANG, D.; XIE, Z.; WANG, C. Bar section image enhancement and positioning method in on-line steel bar counting and automatic separating system. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON IMAGE AND SIGNAL PROCESSING, 2008, Sanya. *Proceedings...* Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2008. p. 319–323.

ZHANG, R.; ZHAO, S.; JIN, Z.; YANG, N.; KANG, H. Application of SVM in the food bacteria image recognition and count. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON IMAGE AND SIGNAL PROCESSING, 3., 2010, Trois-Rivières. *Proceedings...* [Piscataway]: IEEE, 2010. p. 1819-1823.

ZHAO, P.; LI, Y. Grain counting method based on image processing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE, 2009, Wuhan. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2009. p. 1–3.

ZHOU, X.; XIAO, X.; MA, C. A study of automatic recognition and counting system of urine-sediment visual components. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOMEDICAL ENGINEERING AND INFORMATICS, 3. 2010, Yantai. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2010. p. 78–81.

ZOU, L.-H.; CHEN, J.; ZHANG, J.; GARCIA, N. Malaria cell counting diagnosis within large field of view. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL IMAGE COMPUTING: TECHNIQUES AND APPLICATIONS, 2010, Sydney. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 2010. p. 172–177.



Informática Agropecuária

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**



CGPE 9974