INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA (ILACVN)

ENGENHARIA FÍSICA

DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMOS COMPUTACIONAIS PARA IDENTIFICAÇÃO, EM IMAGENS RADIOGRÁFICAS, DE PARASITAS UTILIZADOS EM CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS

RODOLFO JAVIER TALAVERA

Foz do Iguaçu
2022

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

INSTITUTO LATINO- AMERICANO DE CIÊNCIAS
DA VIDA E DA NATUREZA (ILACVN)

ENGENHARIA FÍSICA

DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMOS COMPUTACIONAIS PARA IDENTIFICAÇÃO, EM IMAGENS RADIOGRÁFICAS, DE PARASITAS UTILIZADOS EM CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS

RODOLFO JAVIER TALAVERA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Física.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo G. Hönnicke

Foz do Iguaçu
2022

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

RODOLFO JAVIER TALAVERA

DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMOS COMPUTACIONAIS PARA IDENTIFICAÇÃO, EM IMAGENS RADIOGRÁFICAS, DE PARASITAS UTILIZADOS EM CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Física.

BANCA EXAMINADORA

_____
Orientador: Prof. Dr. Marcelo G. Hönnicke
UNILA

_____
Prof. Dr. Rodrigo Bloot
UNILA

_____
Prof. Dr. Walmor Cardoso Godoi
UTFPR

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a):_____

_____

Curso: _____

	Tipo de Documento
(…..) graduação	(…..) artigo
(…..) especialização	(…..) trabalho de conclusão de curso
(…..) mestrado	(…..) monografia
(…..) doutorado	(…..) dissertação
	(…..) tese
	(…..) CD/DVD – obras audiovisuais
	(…..) _____

Título do trabalho acadêmico: _____

_____

_____

Nome do orientador(a): _____

Data da Defesa: _____/_____/_____

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons* **Licença 3.0 Unported.**

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

_____

Assinatura do Responsável

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao meu professor orientador não só pela imensa e constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela sua imensa paciência e amizade.

Ao Colega Rudney Bostel, pelo fornecimento das Macros que serviram de base na implementação dos algoritmos.

A minha avó Brígida e meu tio Derlis pelo apoio mesmo na distância.

Aos colegas e amigos Jhoan, Maggi, Adel, Husseim..., meu grupo de apoio e companheiros de luta constante.

E especial agradecimento a minha companheira Arasy, futura mãe da minha Jasy Valentina, pelo apoio incondicional nestes dias extremadamente difíceis.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

RESUMO

No presente trabalho, foi discutido sobre a origem e controle de pragas, bem como métodos de imagem por raios X e processamento de imagens. O processamento de imagem é intimamente relacionado a reconhecimento de padrões, pois para identificar certos padrões é necessário uma preparação e otimização da imagem para seu estudo. Realizou-se processamento de imagens de radiografias de ovos de Mariposa *Anticarsia gemmatalis*, infetadas pela vespa do gênero *Trichogramma*. Tentativas de identificação de padrões por meio de rotinas desenvolvidas em Matlab utilizando diferentes métodos de procura foram realizados.

Palavras-chave: processamento de imagens; reconhecimento de padrões; controle biológico de pragas; Matlab.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

RESUMEN

En el presente trabajo, se discutió una discusión sobre el origen y control de plagas, métodos de imágenes de rayos X y procesamiento de imágenes. El procesamiento de imágenes está estrechamente relacionado con el reconocimiento de patrones, ya que identificar ciertos patrones requiere preparar y optimizar la imagen para su estudio. Se realizó procesamiento de imágenes de radiografías de huevos de Polilla *Anticarsia gemmatalis*, infectados por la avispa del género *Trichogramma*. Los intentos de identificar patrones a través de los comandos de Matlab utilizando diferentes métodos de búsqueda fueran realizados.

Palabras clave: procesamiento de imágenes; Reconocimiento de patrones; control biológico de plagas; Matlab.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

ABSTRACT

In the present work, a discussion on the origin and control of pests, X-ray imaging methods and image processing was discussed. Image processing is closely related to pattern recognition. For pattern identification image preparation and optimization is demanded. Image processing on radiographs of eggs of Moth Anticarsia gemmatalis, infected by the wasp of the genus Trichogramma, was performed. Attempts to identify patterns through Matlab scripts using different searching methods were emploied.

Keywords: image processing; Pattern Recognition; biological pest control; Matlab.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Gráfico dos módulos dos coeficientes do índice de refração (δ e β) versus energia dos fótons de raios X para cálcio, carbono e água. 20
Figura 2 – Desenho esquemático do método por contraste de fase pelo método da propagação 22
Figura 3 – Mascaras vertical e horizontal de sobel.....29
Figura 4 – Mascaras vertical e horizontal de Pewitt 30
Figura 5 – Setas localizadas mostrando os centros e os raios de figuras circulares. 33
Figura 6 – Figuras circulares localizadas pela função imfindcircles. 33
Figura 7 – Imagem R resultante do pré-processamento. No quadrado verde o ovo da mariposa, ovo grande e em quadrado vermelho o ovo do parasita, ovo pequeno. ...35
Figura 8 – Histograma de uma imagem correspondente ao parasitismo de sete dias. No eixo x representa a intensidade do espectro cinza com valores de 0 a 1 e o eixo y representa a frequência com que esses valores se repetem. Vemos que a colunas foram cortadas automaticamente devido a que os valores entre 0,82 e 0,87 tem frequências desproporcionalmente altas. 36
Figura 9 – Efeito da aplicação do filtro no histograma. Podemos ver que a frequência no valor 1 de valores dos pixels (eixo x) foi drasticamente aumentado. 37
Figura 10 – A: antes de aplicar o filtro. B: depois de aplicar o filtro. 38
Figura 11 – A: histograma da imagem depois de aplicada o filtro de translação. B: resultado visual da aplicação do filtro. 39
Figura 12 – Em círculo vermelho os padrões circulares grandes e em verdes padrões circulares pequenos que formam identificados. 40
Figura 13 – A:círculos grandes identificados. B: regiões delimitadas pelos círculos grandes. 41
Figura 14 – Area limitada pelo Snake2D com pontos selecionados manualmente. .42
Figura 15 – A: Região extraída pelo Snake2D aplicada a cada circulo 42
Figura 16 – Ovos pequenos identificados dentro das regioes cortadas. 43

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

2 CONTEXTO PRELIMINAR 16

2.1 LAGARTA E MARIPOSA 16
2.2 INSETOS E PRAGAS 16
2.3 CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS 17

3 RADIOGRAFIA POR CONTRASTE DE FASE 18

3.1 INTRODUÇÃO 18

3.1.2 Interação da radiação com a matéria e técnicas de radiografia por contraste de fase 19

3.2 PRINCIPIO FÍSICO 19
3.3 MÉTODO BASEADO EM PROPAGAÇÃO 21
3.4 CONFIGURAÇÃO EXPERIMENTAL 22

4 PROCESSMENTO DIGITAL DE IMAGENS 23

4.1 INTRODUÇÃO 23
4.2 TRATAMENTO DAS IMAGENS 23

4.2.1 Filtros 24

4.2.3 Operações morfológicas 28

4.3.4 Segmentação 28

4.3 RECONHECIMENTO DE PADRÕES 30
4.4 MATLAB 31

4.4.1 Tópicos Ferramentas de processamento de imagens em Matlab 32

4.4.2 Ferramentas de reconhecimento de padrões em Matlab 32

5 RESULTADOS E DISCUSSOES 34

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 44

ANEXO A: MACROS UTILIZADAS 45

PRÉ-PROCESSAMENTO 45
FILTRO DE TRANSLAÇÃO 45
FILTRO SOBEL 46
TENTATIVA 1 46
TENTATIVA 2 47
TENTATIVA 3 47

REFERÊNCIAS 51

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de grãos no mundo, com uma produção, no ano de 2021, de 135,409 milhões de toneladas. Prevê-se que a área plantada de soja para o ano 2022 deverá alcançar 40 milhões de hectares com uma produtividade de 3.091 kg/há (CONAB-BRAZILIAN NATIONAL FOOD SUPPLY AGENCY [COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO], 2022).

Um dos fatores que podem prejudicar na produtividade é a incidência de pragas. Na safra correspondente ao período 2019/2020 nas unidades de referência do estado de Paraná, a lagarta-de-soja *Anticarsia gemmatalis* é a mais frequente entre as demais espécies de lagartas, oscilando ao redor de 70% em ocorrência percentual. Geralmente, o controle desta espécie se faz quando são achados uma quantidade de 20 ou mais lagartas por metro linear e soja e, as mesmas, adquirirem um tamanho de 1,5 cm (CONTE et al., 2020).

A *Anticarsia gemmatalis* é uma espécie que pode causar danos de até 100% da lavoura se não for tratada (NOHATTO; HENNIGEN; GARCIA, 2010). Uma forma de controle é o uso de pesticidas. Uma das consequências do uso de pesticidas em cultivos de soja é a contaminação da água doce e, também do solo (RICARDO et al., 2021). Trabalhadores de lavoura expostos a pesticidas são alvos potenciais de afecções (danos na estrutura genética) decorrentes do contato com esses produtos químicos que contêm substâncias potencialmente citotóxicas, genotóxicas e mutagênicas (BENEDETTI et al., 2013).

Como alternativa sustentável, pode-se utilizar o controle biológico através de patógenos naturais das pragas (OLIVEIRA, 2009). O controle biológico da lagarta de soja se faz parasitando os ovos da mariposa (dos quais as lagartas eclodem) onde utiliza-

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

se como agente parasitoide a vespa da família *Trichogrammatidae* da ordem *Hymenoptera* (DE QUEIROZ et al., 2020).

Pelas formas como se apresentam os ovos da *Anticarsia* e os padrões de parasitismo, a visualização e estudo do parasitismo dentro dos ovos é um desafio. Em geral, os estudos da eficácia do uso do agente parasitoide são feitos pela abertura do ovo em microscopia óptica convencional para verificação e contagem dos ovos parasitados e, também, pela contagem dos parasitas que saem dos ovos (Avanci et al., 2005). Uma técnica não destrutiva, como a radiografia por contraste de fase, que permite, inclusive, o estudo do parasitismo *in-vivo* pode ser uma solução (Hönnicke et al., 2005). Neste panorama se observa a necessidade de uma detecção automática por reconhecimento de padrões de parasitismo, em diferentes estágios, em imagens de radiografia por contraste de fase de ovos de *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae).

OBJETIVOS

Temos como objetivo criar e implementar rotinas de processamento de imagens de radiografia de Raios X com a finalidade de ser aplicada num método de reconhecimento de imagens.

OUTLINE

No primeiro capítulo será dada uma contextualização sobre o impacto que podem causar as pragas e o método para poder controlar elas. No segundo capítulo será tratado o princípio físico que há por trás da obtenção das imagens. No terceiro capítulo será apresentada uma base teórica sobre o processamento das imagens. Por último, no capítulo final, serão apresentados os resultados do processamento de imagens de parasitas em ovos de mariposa.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

2 CONTEXTO PRELIMINAR

No contexto preliminar será apresentada uma introdução sobre o ciclo de vida da mariposa, o seu impacto nos cultivos e sobre o controle biológico.

2.1 LAGARTA E MARIPOSA

Ao longo da vida da lagarta o seu único objetivo é se alimentar o máximo possível. Em consequência disso, aumentam seu tamanho por milhares de vezes, favorecendo a um *feedback* positivo de alimentação e crescimento. A cabeça é grande, o tórax (a seção intermediária entre a cabeça e o abdomen) é pequeno e todo o corpo é longo e tubular. O epicrânio, uma cápsula dura da cabeça com uma placa frontal triangular ou “fronte”, tem uma característica de linha invertida em forma de Y que se estende para baixo do topo da cabeça; esta linha distingue a lagarta de qualquer outra larva. As lagartas se distinguem de outras larvas devido à caraterísticas externas como patas abdominais.

Por outro lado, as mariposas selecionam a planta hospedeira onde vão eclodir em segurança. Os ovos podem ser colocados individualmente ou em quantidades em forma de massa única (na ordem de milhares), na maioria das vezes tendo formato parecido à uma colônia de fungos. Os ovos podem eclodir em até dez dias. Porém, podem atrasar a eclosão quando se deparam com condições adversas como frio ou calor extremos ou mesmo estado de hibernação da planta hospedeira, entrando num estado de interrupção chamado de dipausa (JAMES, 2017). O processo é retomado, quando as condições são normalizadas.

2.2 INSETOS E PRAGAS

Um inseto é considerado uma praga se atingir um índice determinado de prejuízos econômicos a uma cultura plantada (ROSSETTO; DIAS SANTIAGO, [s.d.]). O dano econômico, no caso da soja, se mede pelo nível e desfolha da plantação num estágio de crescimento da planta (BUENO; BATISTELA; MOSCARDI, 2010).

A *Anticarsia gemmatalis* é a espécie mais comum de pragas de soja no Brasil, seu índice de desfolhamento pode chegar até o 100% (HOFFMANN-CAMPO et al., 2000). A lagarta-da-soja é a forma imatura da mariposa A. gemmatalis (SILVA; COSTA; BOSS, 2003).

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

2.3 CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS

Como forma de controle biológico de pragas, poder ser empregado um regulador natural da mariposa que é a vespa do gênero *Trichogramma*, onde a espécie mais usada para parasitar os ovos de mariposa é o *pretiosum*. A vespa deposita seus ovos dentro dos ovos da mariposa. Em até oito dias, os ovos da vespa eclodem, evitando a eclosão dos ovos da mariposa (FOERSTER; MARCHIORO; FOERSTER, 2015; SIMONATO; GRIGOLLI; OLIVEIRA, 2014).

Como já mencionado na introdução, deste trabalho, a análise da eficácia do parasitismo é feita pela abertura dos ovos da mariposa e, com auxílio da microscopia óptica convencional, faz-se contagem dos ovos parasitados. Além disso, o número de parasitas que saem dos ovos também é contabilizado (Avanci et al., 2005).

A fim de visualizar partes internas de sistemas biológicos sem que seja necessário alterar o mesmo (técnica não destrutiva) é necessário trabalhar com algo que possa penetrar em superfícies opacas, com resolução espacial sub-milimétrica.e sensível a elementos leves (número atômico pequeno, (SOCHA et al., 2007). A radiografia por contraste de fase, que permite o estudo do parasitismo *in-vivo* é uma opção (Hönnicke et al., 2005).

Portanto, é necessário aprofundar sobre os métodos de obtenção de imagens radiográficas por contraste de fase, em especial a técnica de propagação que foi utilizada para obtenção das imagens analisadas neste trabalho.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

3 RADIOGRAFIA POR CONTRASTE DE FASE

Neste capítulo vemos como são produzidos os raios X, sua interação com a matéria, a medição desta interação e como estes resultados são usados para a produção das imagens radiográficas.

3.1 INTRODUÇÃO

3.1.1 Produção de raios X

Os raios X são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre 10^{-12} m e 10^{-8} m. Par uso em estudo de materiais, ou em aplicações biomédicas, os raios X podem ser produzidos por fontes convencionais (alvo metálico convencional, alvo metálico de anodo rotatório, alvo metálico tipo microfoco ou alvo tipo de metal líquido) ou por fontes tipo sincrotron ou laser de elétrons livres.

Uma fonte de raios X convencional é, na realidade, um tubo de raios catódicos composto por uma câmara de vácuo contendo o anodo (filamento) e o catodo (alvo metálico). Ao se aplicar uma corrente de alta intensidade ao catodo, esse esquenta, por efeito Joule, e aumenta sua temperatura. Então, por efeito de emissão termiônica, elétrons são liberados do catodo. Aplicando-se uma diferença de potencial elevada entre catodo e anodo (de milhares a dezenas de milhares de volts) os elétrons são acelerados em direção ao anodo, sendo freados quando se aproximam do mesmo, produzindo uma perda de energia que é liberada em forma de luz (fótons). Ainda, no anodo, as interações entre os elétrons acelerados pelo potencial elevado e os elétrons fortemente ligados (de mais alta energia) aos átomos do material que o constituem podem ocorrer (transições eletrônicas). Nessa interação são produzidas as radiações características de cada tipo de alvo

Os sincrotrons, são aceleradores de elétrons, aproximadamente, circulares. São máquinas grandes, que podem ter comprimento de circunferência de algumas dezenas de metros até centenas de metros. Geralmente são polígonos de vários lados (seções retas) unidos por curvadores do feixe elétrons (“Bending magnets”). A radiação é produzida pela aceleração dos elétrons a serem curvados em dipolos (“bending magnets” - magnetos curvadores da trajetória do elétron) ou acelerados por múltiplos magnetos, colocados nas seções retas, perpendiculares a trajetória dos elétrons (dispositivo de inserção - “wigglers” e onduladores). A vantagem de um sincrotron sobre uma fonte convencional é a intensidade produzida, que pode chegar à mais de 10^{15} vezes, dependendo da faixa de energia utilizada.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

Os lasers de elétrons livres são fontes mais recentes. Existem apenas 3 no mundo (o LCLS, no SLAC, nos Estados Unidos da América, o SACLA no Japão e o EXFEL na Alemanha). Eles são aceleradores de elétrons lineares com comprimento entre 1 km (SACLA) e 3,4 km (XFEL). São caracterizados por produzirem raios X com ultra-alta intensidade em um intervalo de tempo muito curto (da ordem de poucos femtosegundos). Isso dá à essas máquinas um potencial enorme de exploração uma ciência completamente nova, incluindo estudos de evolução temporal.

3.1.2 Interação da radiação com a matéria e técnicas de radiografia por contraste de fase

A energia na qual as imagens apresentadas neste trabalho foram obtidas foi de 18 keV. Nas energias em torno de 20 keV, três principais processos de interação da radiação com a matéria são significativos: (i) a absorção fotoelétrica; (ii) a refração e; (iii) o espalhamento à ultra-baixo ângulo. Essas três formas de contraste estão presentes na técnica de radiografia por contraste de fase. O que se almeja é minimizar a absorção fotoelétrica para ter uma imagem puramente por fase. Mas isso só é possível para mais altas energias.

Entre as técnicas de radiografia por contraste de fase, podemos citar: (i) imagem por contraste de fase utilizando interferômetro de raios X, (ii) imagem por contraste de fase utilizando cristais analisadores; (iii) imagem por contraste de fase pelo método da propagação e; (iv) imagem por contraste de fase utilizando grades interferométricas (TAO et al., 2021). O método da propagação é o mais simples de todos eles. Contudo requer uma fonte de alta brilhância (fonte pequena) disponível apenas nas fontes de raios X tipo microfoco ou nos síncrotrons mais modernos (terceira ou quarta geração) que fornecem um menor tamanho de fonte, tipicamente de alguns micrometros. (LIU et al., 2013).

3.2 PRINCÍPIO FÍSICO

Seja n o índice de refração de um material, temos:

$$n = 1 - \delta + i\beta, \qquad i = \sqrt{-1} \tag{1}$$

onde δ é o termo de deslocamento de fase e β é a parte imaginaria que corresponde à atenuação. Agora, seja o deslocamento de fase φ que está relacionado com (1) tal que

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

$\varphi = \delta kz$ e seja o coeficiente de atenuação μ relacionado com a direção da espessura do material z, tal que

$$\mu = \mu_0 z = 2\beta kz \quad (2)$$

onde k é o numero de onda e z a espessura do material (LIU et al., 2013).

Expandindo o deslocamento de fase φ, temos

$$\varphi = \varphi(x,y) = \frac{2\pi}{\lambda}\int \delta(x,y,z)dz \quad (3)$$

onde λ é o comprimento de onda. A atenuação dos raios X é representada por β e está relacionada com a função de transmissão de amplitude (ou função de transmitância):

$$T(x,y) = \exp\left[-B(x,y) + ij(\mathrm{x},\mathrm{y})\right] \quad (4)$$

da forma

$$-ln|T(x,y)| = \frac{2\pi}{\lambda}\int \beta(x,y,z)dz \quad (5)$$

Assim, a diferença entre os módulos de δ e β indica a vantagem de usar informações de fase de raios X. Em termos de quantidades atômicas temos que δ e β podem ser expressos como

$$\delta = \frac{r_e\lambda^2}{2\pi}\sum_k N_k(Z_k + f_k') \quad (6)$$

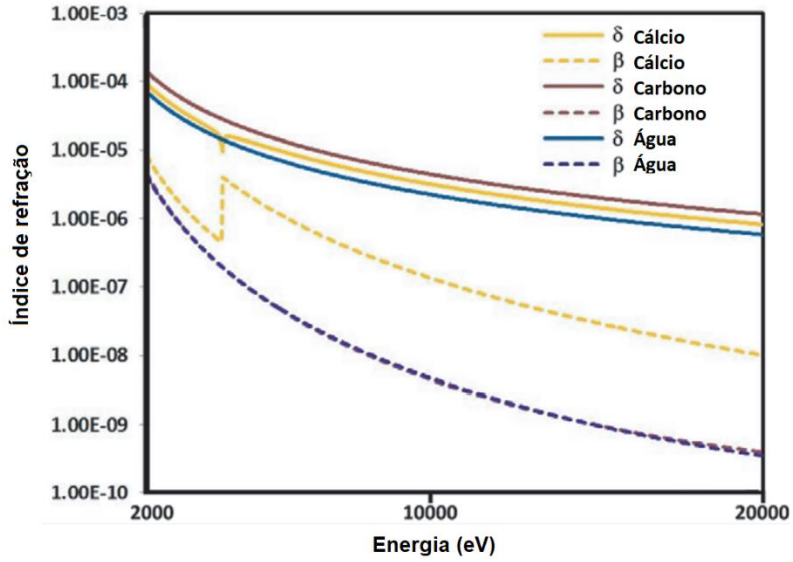
$$\beta = \frac{r_e\lambda^2}{2\pi}\sum_k N_k f_k'' \quad (7)$$

onde r_e é o raio clássico do elétron, N_k é o número de átomos por unidade de volume para o elemento k, Z_k é o número atômico, e f_k' e $f"_k$ são as partes real e imaginária do fator de espalhamento de raios X anômalo (MOMOSE, 2017).

Valores de δ e β são mostrados no gráfico da **Figura 1** como funções da energia dos raios X. Vemos que a razão δ/β é maior que 10^3 para materiais com baixo número atômico sugerindo que o problema da falta de contraste da imagem convencional de raios X , que depende de β, pode ser drasticamente melhorado, utilizando δ para formar imagens (MOMOSE, 2017).

Figura 1 - Gráfico dos módulos dos coeficientes do índice de refração (δ e β) versus energia dos fótons de raios X para cálcio, carbono e água.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07



Fonte: Adaptado de (LIU et al., 2013)

3.3 MÉTODO BASEADO EM PROPAGAÇÃO

Seja o ângulo θ e a distância D, com a intensidade $I_{\theta,D}(x,y)$, depois da interação com a amostra, chamada de padrão de difração de Fresnel tem-se:

$$I_{\theta,D}(x,y) = |u_{\theta,D}(x,y)|^2 \tag{8}$$

Pode-se modelar a frente de onda $u_{\theta,0}(x)$ no plano de saída da amostra, através do seguinte produto:

$$\mathrm{u_{\theta,0}(x) = T_\theta(x) u_{inc}(x)}, \tag{9}$$

sendo $u_{inc}(x)$ a frente de onda incidente.

Para uma distância D relativamente pequena, a propagação pode ser modelada como uma convolução com o propagador de Fresnel, que pode ser simplificada como uma multiplicação no domínio de Fourier

$$\tilde{u}\mathrm{D\ (f)\ =\ \tilde{P}\ D\ (f)\ \tilde{u}_0(f)} \tag{10}$$

onde o “til” denota a transformada de Fourier e $f = (f_x, f_y)$ são as coordenadas de frequência conjugadas ao plano perpendicular à direção de propagação. A transformada de Fourier do propagador de Fresnel é dada por:

$$\tilde{P}\mathrm{D(f)\ =\ exp(-i\pi\lambda D|f|^2)} \tag{11}$$

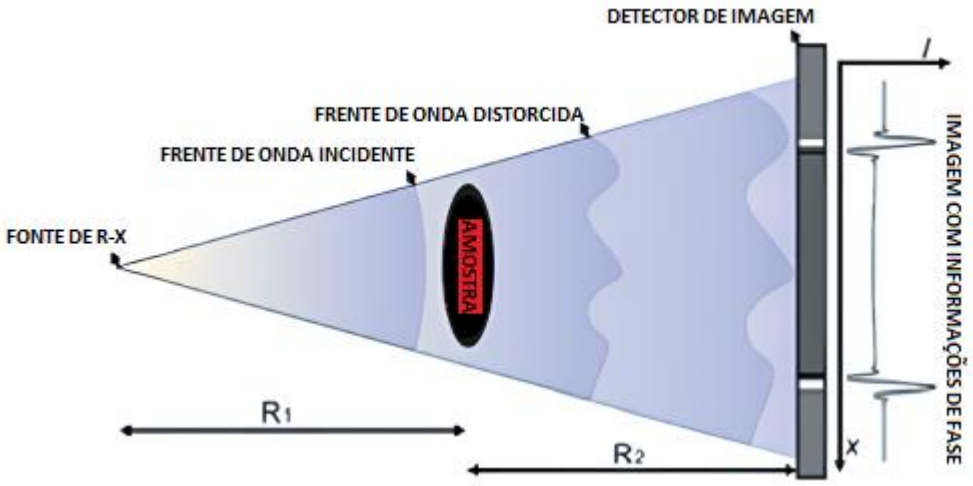
Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

(WEBER et al., 2018).

3.4 CONFIGURAÇÃO EXPERIMENTAL

O arranjo geralmente é conformado pela fonte de raios X (com dimensões de alguns micrometros) e detector a distância variável da amostra. Conforme mostrado no esquema da **Figura 2**, a propagação do feixe de raios X, entre a amostra e o detector, produz um padrão de difração de Fresnel que contém a contribuição da distorção de fase da onda induzida pela amostra (LIU et al., 2013).

Figura 2 – Desenho esquemático do método por contraste de fase pelo método da propagação



Fonte: Adaptado de (LIU et al., 2013)

Por fim, a técnica de imagem por contraste de fase utilizando o método da propagação não requer um feixe estritamente monocromático e, portanto, também pode ser realizado em fontes convencionais em laboratório (GRADL et al., 2017).

Deste modo, no seguinte capítulo será discutido as diferentes formas de tratar as imagens obtidas pelo método de propagação e também, os tratamentos específicos com o intuito de obter certos resultados, por exemplo, identificar padrões característicos.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Neste capítulo veremos uma introdução sobre o conceito e o tratamento das imagens e sua relação com o reconhecimento de padrões.

4.1 INTRODUÇÃO

De acordo com a literatura (GONZALEZ; RICHARD E. WOODS, 2008), o processamento de imagens digitais inclui processos cujas entradas e saídas são imagens, atributos de imagens e reconhecimento de objetos individuais.

Para a aquisição de dados para a obtenção de imagens por raios X, é necessário o uso de um detector bidimensional (detector de área) que pode ser um filme radiográfico, uma placa de imagem (*image plate*) ou um detector tipo CCD (*charge coupled device*) ou CMOS (*complementary metal oxide semiconductor*) que convertem raios x ou luz visível em sinais elétricos de forma direta ou indireta (com o uso de policristais ou monocristais fluorescentes que convertem raios X em luz visível). Os sinais elétricos são convertidos em dados digitais por meio de um conversor analógico digital (ADC – *analogical digital conversor*). Este ADC envia dados digitais para processamento através de um computador. O computador usa um software especial para criar ou construir imagens digitais usando um sistema de numeração binário (SEERAM, 2019).

Uma imagem bidimensional pode então ser representada como uma matriz m x n, onde m é o número de linhas e n o número de colunas. Assim, cada valor desta matriz representa o valor de cada pixel, respectivamente. O valor deste pixel, para imagens tons de cinza, pode ter valores no intervalo de 0 (preto) a 1 (branco). Para imagens coloridas, a imagem se divide em três camadas (ou matrizes) diferentes, onde cada uma representa níveis de 0 a 1 de vermelho, verde e azul, respectivamente. Estes níveis de cinza ou de cor, que vão de 0 a 1, podem ser dimensionalidades em níveis discretos dependendo do espaço e armazenamento determinados para ela. Por exemplo, uma imagem de 8 bits representa 256 tons de cinza de 0 a 255 (AISHWARYA et al., 2016).

4.2 TRATAMENTO DAS IMAGENS

O pré-processamento da imagem é o primeiro tratamento antes do processamento em si. É dividido em duas partes: aprimoramento do contraste da imagem e detecção de bordas. O aprimoramento de imagem é necessário para imagens adquiridas para melhorar o contraste e a relação sinal-ruído (JUNG et al., 2017).

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

4.2.1 Filtros

4.2.1.1 Conceitos preliminares

SERIES DE FOURIER

Uma série de Fourier é uma representação de uma função periódica f (x) de período 2l, ou seja, f (x) = f (x + 2l) =⋯= f (x + 2nl), para n = 1, 2, 3, ..., como uma combinação linear de todas as funções cosseno e seno que têm o mesmo período, tais que

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{n\pi x}{l}\right) + b_n \sin\left(\frac{n\pi x}{l}\right), \tag{12}$$

Onde

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{1}{l}\int_{-l}^{l} f(x)\cos\left(\frac{n\pi x}{l}\right)dx, n = 0, 1, 2, \dots, \\ b_n &= \frac{1}{l}\int_{-l}^{l} f(x)\sin\left(\frac{n\pi x}{l}\right)dx, n = 0, 1, 2, \dots. \end{aligned} \tag{13}$$

Por conta da parte trigonométrica de (12) sendo o período fundamental igual a $2l$ por conta de $\cos\left(\frac{\pi x}{l}\right) = \cos\left(\frac{\pi x}{l} + 2\pi\right) = \cos\left(\frac{\pi}{l}(x + 2l)\right)$, para n=1 e o mesmo é para a parte senoidal. A constante a_0 não tem período fundamental, mas é uma função periódica com qualquer número natural incluindo 2 (RAHMAN, 2011).

Por identidade trigonométrica temos que a expressão (12) pode ser expressa da forma

$$\begin{aligned} f(x) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{\frac{in\pi x}{l}}, \\ C_n &= \frac{1}{2l}\int_{-l}^{l} f(x)e^{-\frac{in\pi x}{l}}dx \end{aligned} \tag{14}$$

Com

$$\cos\left(\frac{n\pi x}{l}\right) = \frac{e^{\frac{in\pi x}{l}} + e^{\frac{-in\pi x}{l}}}{2},$$

$$\operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{l}\right) = \frac{e^{\frac{in\pi x}{l}} - e^{\frac{-in\pi x}{l}}}{2i}$$

(RAHMAN, 2011)

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

TRANSFORMADA DE FOURIER

A integral de Fourier é dada como o limite formal da série de Fourier, pois o período tende ao infinito. Assim, se $f(x)$ é qualquer função de x em todo o intervalo $(-\infty < x < \infty)$, pode-se formar uma função periódica $f(x)$ do período 2 que concorda com $f(x)$ no intervalo $(-l, l)$. A série de Fourier de $f(x)$, com a expressão (14) para C_n, pode ser escrita na forma

$$f_l(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{\frac{in\pi x}{l}}$$

$$f_l(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left(\left(\frac{1}{2l}\right) \int_{-l}^{l} \left(f_l(z) e^{-\frac{in\pi z}{l}} dz \right) \right) e^{\frac{in\pi x}{l}}$$

$$f_l(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left(\left(\frac{1}{2l}\right) \int_{-l}^{l} \left(f_l(z) e^{-\frac{in\pi z}{l}} dz \right) \right) e^{\frac{in\pi x}{l}} \quad (15)$$

$$f_l(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{-l}^{l} \left(f_l(z) e^{-\frac{in\pi z}{l}} dz \right) \right\} \left(e^{\frac{in\pi x}{l}} \right) \left(\frac{1}{2l}\right)$$

$$f_l(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{-l}^{l} \left(f_l(z) e^{-\frac{i2n\pi z}{l}} dz \right) \right\} \left(e^{\frac{i2n\pi x}{l}} \right) \Delta y$$

Sendo $y_n = \frac{n}{2l}$, $y_{n+1} = \frac{n}{2l}$ e $\Delta y = y_{n+1} - y_n = \frac{1}{2l}$.

Agora, levando l para o infinito temos que

$$f(x) = \int_{y=-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{z=-\infty}^{\infty} \left(f(z) e^{-\frac{i2n\pi yz}{l}} dz \right) \right\} \left(e^{\frac{i2n\pi xy}{l}} \right) dy$$

$$= \int_{y=-\infty}^{\infty} g(y) \left(e^{\frac{i2n\pi xy}{l}} \right) dy \quad (16)$$

$$g(y) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-\frac{i2n\pi xy}{l}} dx$$

Assim, a transformada de Fourier de uma função f(x) é dada por

$$F\big(f(x)\big) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-\frac{i2n\pi xy}{l}} dx \quad (17)$$

(RAHMAN, 2011)

A CONVOLUÇÃO

A convolução é um processo matemático simples que é a base para muitos

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

operadores comuns de processamento de imagem. A convolução fornece uma maneira de multiplicar duas matrizes de números de tamanhos diferentes, mas da mesma dimensão, para produzir uma terceira matriz de números da mesma dimensão. A convolução 2-D no domínio espaço temporal é comumente usada para filtragem de imagens. Isso é usado no processamento de imagens para implementar operadores que são combinações lineares simples de determinados valores de pixel de entrada. No contexto de processamento de imagem, uma das matrizes de entrada é normalmente uma imagem em tons de cinza. A segunda matriz é geralmente menor, também bidimensional e conhecida como *kernel* (máscara).

Se a imagem contiver M linhas e N colunas e o *kernel* tiver m linhas e n colunas, a imagem de saída consistirá em M-m+1 linhas e N-n+1 colunas. Matematicamente, a convolução é expressa como segue (AISHWARYA et al., 2011):

$$Q(i,j) = \sum_{k=1}^{m} \sum_{l=1}^{n} P(i+k-1, j+1+l-1) K(k,l) \quad (18)$$

É rápido e simples se a imagem de entrada e o *kernel* do filtro usado forem relativamente pequenos. No entanto, à medida que a imagem ou *kernel* cresce em tamanho, a complexidade computacional aumenta geometricamente. A filtragem de imagens grandes pode ser feita muito mais rapidamente no domínio da frequência usando transformadas de Fourier em duas dimensões (MICHELONI; FORESTI; SNIDARO, 2005).

Os filtros são dispositivos matemático-computacionais frequentemente usados, no processamento de imagens, para remover ou minimizar estruturas indesejáveis. São aplicados no espaço de Fourier, de forma mais simplificada, para remover frequências baixas (decorrentes de estruturas maiores na imagem do espaço real) ou altas da imagem (decorrentes de estruturas menores na imagem do espaço real). Também, explicando de forma bem simplificada, o procedimento consiste em detectar e minimizar as bordas da imagem, para áreas de baixa frequência e, suavizar a imagem para áreas de alta frequência (passa-baixo adaptativo)(İLHAN, 2021).

4.2.1.1 Filtro médio

O filtro médio é também chamado de suavização ou filtragem de caixa. Este é um método heurístico de suavizar imagens e reduzir a quantidade de variação de

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

intensidade entre os pixels. Também pode ser usado para reduzir o ruído em imagens. Este método envolve a substituição de cada valor de pixel em uma imagem pelo valor médio, incluindo seus vizinhos e ele próprio. Isso leva ao desaparecimento de valores de pixel incomuns que não representam aqueles ao seu redor. O filtro médio é um filtro de convolução.

4.2.1.2 Filtro mediano

Assim como o filtro médio, o filtro mediano é usado para reduzir o ruído em uma imagem O filtro mediano também analisa os pixels vizinhos, a um determinado pixel, para calcular o valor de cada pixel, contudo, os valores dos pixels adjacentes são classificados, e o valor médio é obtido. Se houver um número par de pixels na área aplicada, a média dos dois pixels centrais é usada como valor médio.

4.2.1.3 Smoothing

O *conservative smoothing* (suavização moderada) é uma técnica de redução de ruído. Esta técnica é um algoritmo de filtragem rápido projetado para eliminar picos de ruído. Tal como acontece com a maioria dos filtros de ruído, a suavização moderada assume que o ruído é de alta frequência espacial. Portanto, reduz a intensidade de cada pixel com uma operação local, para ser consistente com seus vizinhos mais próximos. É realizado por um procedimento para encontrar os valores mínimos e máximos de densidade de pixels de todos os pixels ao redor de um determinado pixel. Se o valor do pixel central estiver na região de distribuição de densidade vizinha, esse valor é transmitido exatamente para a imagem de saída como valor máximo. Se seu valor for menor que o valor mínimo, o valor desse pixel será refletido na imagem de saída como o valor mínimo

4.2.1.4 Filtro gaussiano

O operador de suavização gaussiano é um operador de convolução bidimensional usado para desfocar uma imagem e remover detalhes e ruídos. Nesse sentido, é comparado com o filtro de média. No entanto, ele usa um modelo de *kernel* diferente que representa uma função gaussiana. O grau de suavização é determinado pelo valor do desvio padrão (İLHAN, 2021).

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

4.2.3 Operações morfológicas

4.2.3.1 Dilatação

A dilatação aumenta o tamanho dos objetos. O efeito dessa operação aumentará gradualmente os contornos dos pixels, de modo que as áreas aumentem de tamanho e os vazios (pixels com valores 0) nessa região se tornem menores. A dilatação usa duas entradas de dados. A primeira é a imagem de entrada a ser esticada e a segunda é o elemento estruturante também chamado de *kernel* que determina o quanto a imagem deve ser esticada. A definição matemática de dilatação pode ser a seguinte:

Seja A seja um conjunto de coordenadas da imagem de entrada, B um conjunto de coordenadas do *kernel* e B_x uma translação de B, de modo que sua origem esteja em x. Assim, a dilatação de A por B é definida de todos os pontos de x tal que a interseção de B_x com A é não nula. Por operações de conjunto, a dilatação de A por B é definida como (HARALICK et al., 1987, HARALICK;SHAPIRO,1992):

$$A \oplus B = \{x|\left(\hat{B}\right)_x \text{Ç} A \neq \emptyset\} \quad (19)$$

4.2.3.2 Erosão

A erosão pode ser explicada como como o contrário da dilatação. A definição matemática é a mesma com a diferença que B_x é um subconjunto de A. Em termos de operações de conjunto, a erosão de A por B é definida como (CHUDASAMA et al., 2015):

$$A \ominus B = \{x|\left(\hat{B}\right)_x \text{Ç} A^c \neq \emptyset\} \quad (20)$$

4.3.4 Segmentação

A segmentação consiste numa divisão e subdivisão de uma imagem em uma estrutura ou subestrutura para otimização da sua análise e posterior filtragem.

4.3.4.1 Segmentação Thesholding

Este método consiste em converter imagens em tons de cinza para imagens com tons ou preto ou branco (imagens binárias, onde 0 é o tom preto e 1 é o tom branco). Basicamente, se estabelece um ou mais limites da intensidade dos pixels substituindo-se os valores dos pixels por valores de 0 ou 1. Pode-se dividir em dois tipos, o *thresholding* local, onde só existe um limite para agrupar os pixels e o *thresholding* global, onde torna-se possível estabelecer vários limites. Este último, pode gerar uma quantidade

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

de sub-imagens igual à da quantidade de limites estabelecidos. Geralmente, é aplicado a imagens com níveis de cinza muito próximos (CHAPLE; DARUWALA; GOFANE, 2015).

4.3.4.2 Segmentação por bordas

Este tipo de segmentação seleciona as bordas definidas de uma imagem. Os principais tipos de bordas são a detecção de borda Sobel e a detecção de borda Prewitt.

Figura 3 – Região 3x3 da imagem

z1	z2	z3
z4	z5	z6
z7	z8	z9

Fonte: (CHAPLE; DARUWALA; GOFANE, 2015)

A detecção de borda Sobel pode usar duas máscaras, constituídas por matrizes. Cada matriz se define como um gradiente entre a linha horizontal:

$$g_x = (z_3 - 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7) \quad (21)$$

e a coluna vertical

$$g_y = (z_7 - 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3) \quad (22)$$

Figura 3 – Máscaras vertical e horizontal de sobel

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Fonte: (CHAPLE; DARUWALA; GOFANE, 2015)

Esses operadores são usados principalmente em imagens que possuem pixels com valores pequenos, separáveis e discretos.

4.3.4.3 Segmentação Prewitt

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

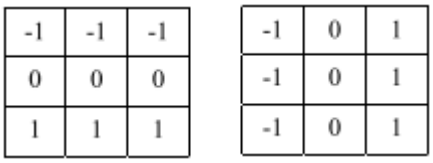
A máscara Prewitt é um operador de diferenciação discreta que utiliza duas máscaras 3×3 para calcular valores diferenciais aproximados nas direções horizontal

$$g_x = (z_3 - z_6 + z_9) + (z_1 + z_4 + z_7) \quad (23)$$

e vertical (CHAPLE; DARUWALA; GOFANE, 2015)

$$g_y = (z_7 - z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3) \quad (24)$$

Figura 4 – Máscaras vertical e horizontal de Pewitt



Fonte: (CHAPLE; DARUWALA; GOFANE, 2015)

4.3 IMPORTANCIA DA SEGMENTAÇÃO NO RECONHECIMENTO DE PADRÕES

O reconhecimento de padrões é dado como a classificação de dados de entrada em classes identificáveis, por meio da extração de características ou atributos significativos de dados de algo que pareça ter detalhes irrelevantes. O processamento e reconhecimento de um padrão na imagem é realizado pela transformação da própria imagem com vistas a atingir o objetivo de identificação.

O reconhecimento de padrões e o processamento de imagens estão intimamente relacionados. O reconhecimento de padrões consiste em duas partes: i) seleção de recursos e; ii) design do classificador. A área de processamento de imagens consiste não apenas na codificação, filtragem, aprimoramento e restauração, mas também na análise e reconhecimento de imagens. Por outro lado, a área de reconhecimento de padrões inclui não apenas extração e classificação de características, mas também pré-processamento e descrição de padrões(SHARMA; KAUR, 2013).

A fim de fornecer uma descrição eficaz e eficiente dos padrões, muitas vezes é necessário pré-processamento para remover ruídos e redundância nos resultados. Em seguida, um conjunto de características, que podem ser numéricas e/ou não numéricas, e relações entre essas características, são extraídas para a representação de padrões.

A classificação e/ou descrição dos padrões em relação a um objetivo específico é realizada com base na representação. Deste ponto de vista, o estudo do reconhecimento de padrões inclui tanto a análise das características, quanto o projeto de

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

sistemas de reconhecimento (DONGARE-MAHABARE, 2017).

As técnicas matemáticas usadas para resolver problemas de reconhecimento de padrões podem ser agrupadas em duas abordagens gerais (SHARMA; KAUR, 2013):

1) A abordagem da teoria da decisão (ou discriminante)

Na abordagem da teoria da decisão, um conjunto de medidas características, chamadas de características, são extraídas dos padrões. Cada padrão é representado por um vetor de características. O reconhecimento de cada padrão geralmente é feito pelo particionamento do espaço de características.

2) A abordagem sintática (ou estrutural)

Na abordagem sintática, cada padrão é expresso como uma composição de seus componentes, chamados de sub-padrões. Essa abordagem traça uma analogia entre a estrutura dos padrões e a sintática de uma linguagem. O reconhecimento de cada padrão é feito analisando a sua estrutura de acordo com um determinado conjunto de regras de sintaxe(SHARMA; KAUR, 2013).

4.4 MATLAB

O Matlab é um programa computacional que tem estrutura de programação própria. Em especial, a caixa de ferramentas de processamento de imagens (*Image Processing Toolbox*) fornece um conjunto de algoritmos padrão de referência, e aplicativos de fluxo de trabalho para processamento, análise, visualização e desenvolvimento de algoritmos de imagens. É possível realizar segmentação de imagem, redução de ruído, transformações geométricas e registro de imagem usando aprendizado profundo e técnicas tradicionais de processamento. A caixa de ferramentas suporta o processamento de imagens 2D, 3D e arbitrariamente grandes. As funções de visualização permitem explorar imagens, volumes 3D e vídeos, ajuste do contraste; criação de histogramas e manipulação de regiões de interesse. Muitas funções da caixa de ferramentas suportam a geração de código C/C++ para prototipagem de desktop e implantação de sistema de visão incorporado (UENO et al., 2001).

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

4.4.1 Tópicos Ferramentas de processamento de imagens em Matlab

4.4.1.1 Leitura e impressão de imagens - comando imread() e comando imshow()

Estes comandos servem para ler e mostrar imagens em, praticamente, todos os formatos. O comando imshow tem a funcionalidade também de poder escolher a faixa de tons de cinza que pode ser impressa, melhorando bastante a visualização de uma imagem com tons muito suaves.

4.4.1.2 Dimensões de uma imagem - Função size();

Devolve dimensões de qualquer variável, seja uma imagem, uma matriz ou vetor.

4.4.1.3 Filtros mais usuais

imfilter(I, M): Filtra uma imagem I usando o filtro definido pela matriz H. Dependendo de M, esse filtro pode ser de tipo Sobel, Prewitt ou gaussiano.

Filtro *wiener2*: filtra a imagem em tons de cinza usando um filtro Wiener passa-baixo adaptativo. É possível especificar o tamanho da vizinhança usada para estimar a média e o desvio padrão da imagem local.

Operadores morfológicos

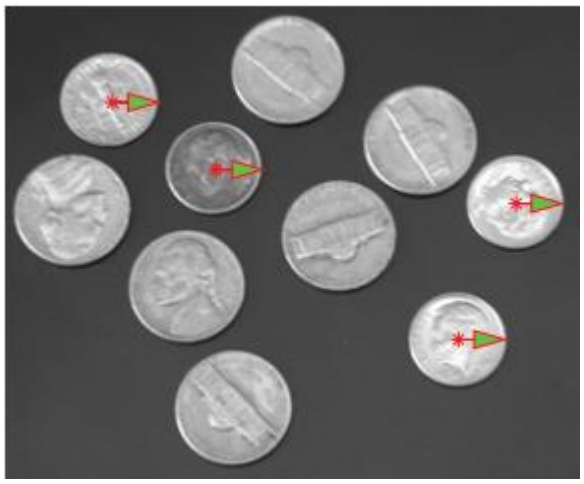
Temos dois principais operadores morfológicos, *imerode* que é um operador de erosão e *imdilate* de dilatação (UENO et al., 2001).

4.4.2 Ferramentas de reconhecimento de padrões em Matlab

A função *imfindcircles* encontra círculos em uma imagem pertencente a um intervalo especificado de tamanhos de raios (**Figura 6)**. A função retorna os centros e raios reais encontrados. A lista de centros e raios é então usada para desenhar um conjunto de setas com pontos iniciais nos centros e comprimento igual aos raios correspondentes (Figura 5). A função *arrow* é usada para desenhar setas de centros especificados com comprimentos e cores especificados (PAREKH, 2021).

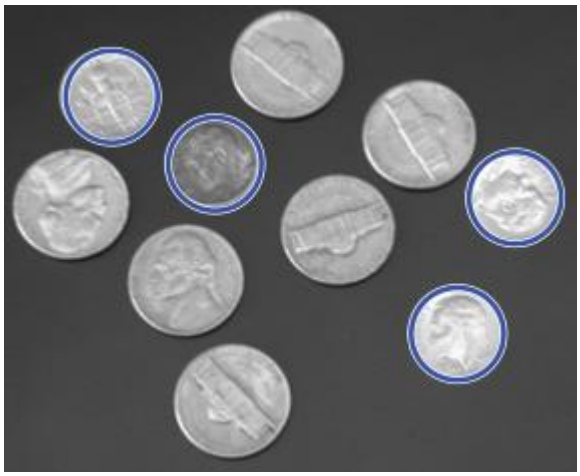
Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

Figura 5 – Setas localizadas mostrando os centros e os raios de figuras circulares.



Fonte: (PAREKH, 2021)

Figura 6 – Figuras circulares localizadas pela função imfindcircles.



Fonte: (PAREKH, 2021)

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Obtenção das imagens

As imagens dos ovos da Mariposa Anticarsia gemmatalis, infetados pela vespa do gênero *Trichogramma*, foram adquiridas com um detector de conversão indireta de 2048 x 2048 pixels, cada pixel com 3,5 μm x 3,5 μm de área e, aproximadamente 10 μm x 10 μm de resolução espacial. Neste caso, as imagens utilizadas são de 2048 x 1200 pixels, formato *.tif de 16 bits. A área de coleta da imagem foi delimitada em função do tamanho do feixe, que, verticalmente, não ilumina todo o detector.

O feixe de raios X é um feixe monocromático (18 keV fornecido pelo monocromador duplo cristal Si 111 da linha de imagem SYRMEP – *Synchrotron Radiation form Medical Physics*, do ELETTRA, em Trieste na Itália).

As imagens de radiografia obtidas eram de diferentes estágios de parasitismo (sem parasitismo, 3 dias depois do parasitismo, 5 dias depois do parasitismo e 7 dias depois do parasitismo), cada uma com dez imagens com feixe desligado (“dark field images”), dez imagens com feixe ligado (“flat field images”) e dez imagens com a amostra e feixe ligado (“sample images”).

Pré-processamento de imagen

Foram feitos os seguintes passos para o pré-processamento da imagem, para um estágio de parasitismo:

1. Abertura das imagens desde a computadora no Matlab
2. Conversão das imagens que, originalmente estão no formato *.tif com números inteiros de 16 bits (*uint16*), para matrizes com números reais l, ou seja, estruturas de matrizes tipo (*double*).
3. Soma das dez imagens, sem feixe, com a amostra e, com feixe, consolidando cada conjunto de dez imagens em uma só variável, A, B e C, respectivamente.
4. Obtenção da imagem limpa e normalizada, minimizando as estruturas pré-

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

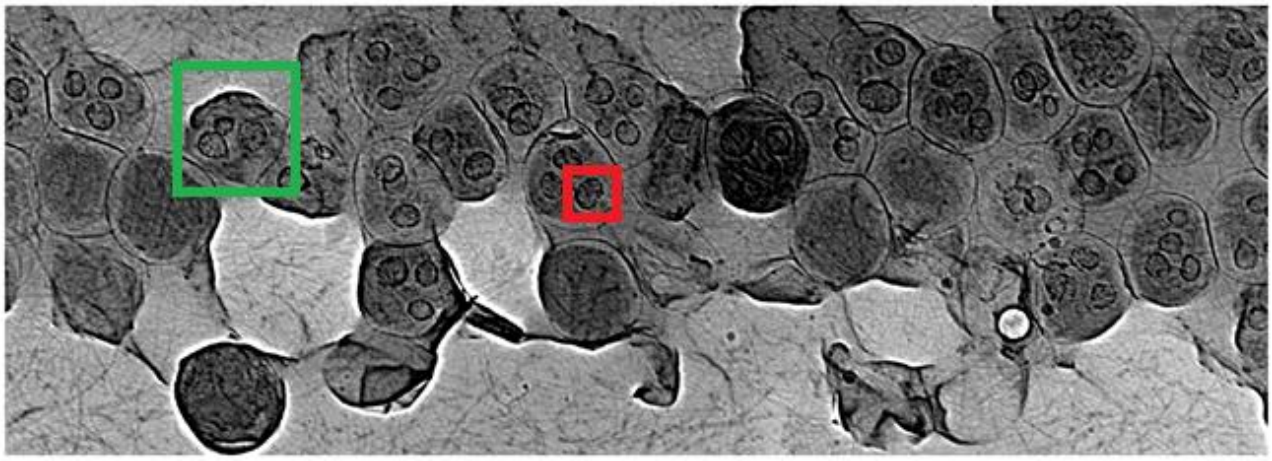
existentes do feixe de raios X ou do detector, através da seguinte operação:

$$R = \frac{B - A}{C - A}$$

que é resultado da operação de cada elemento das matrizes de A, B e C. (Figura 7).

5. Delimitação da área a ser analisada, com vistas a minimizar o processamento computacional.

Figura 7 – Imagem R resultante do pré-processamento. No quadrado verde o ovo da mariposa, ovo grande e em quadrado vermelho o ovo do parasita, ovo pequeno.



Fonte: própria do autor

Assim, todos os demais processos a seguir foram feitos em cima da matriz/imagem R.

Tentativas e resultados

Foram feitas várias tentativas de reconhecer os ovos do parasita por meio de reconhecimento de círculos grandes, que representavam os ovos de mariposa (estruturas com delimitação maior, contudo, não tão circulares), e por reconhecimento de círculos pequenos, que representam o desenvolvimento embrionário do ovo da vespa parasitária. Estas tentativas estão listadas a seguir:

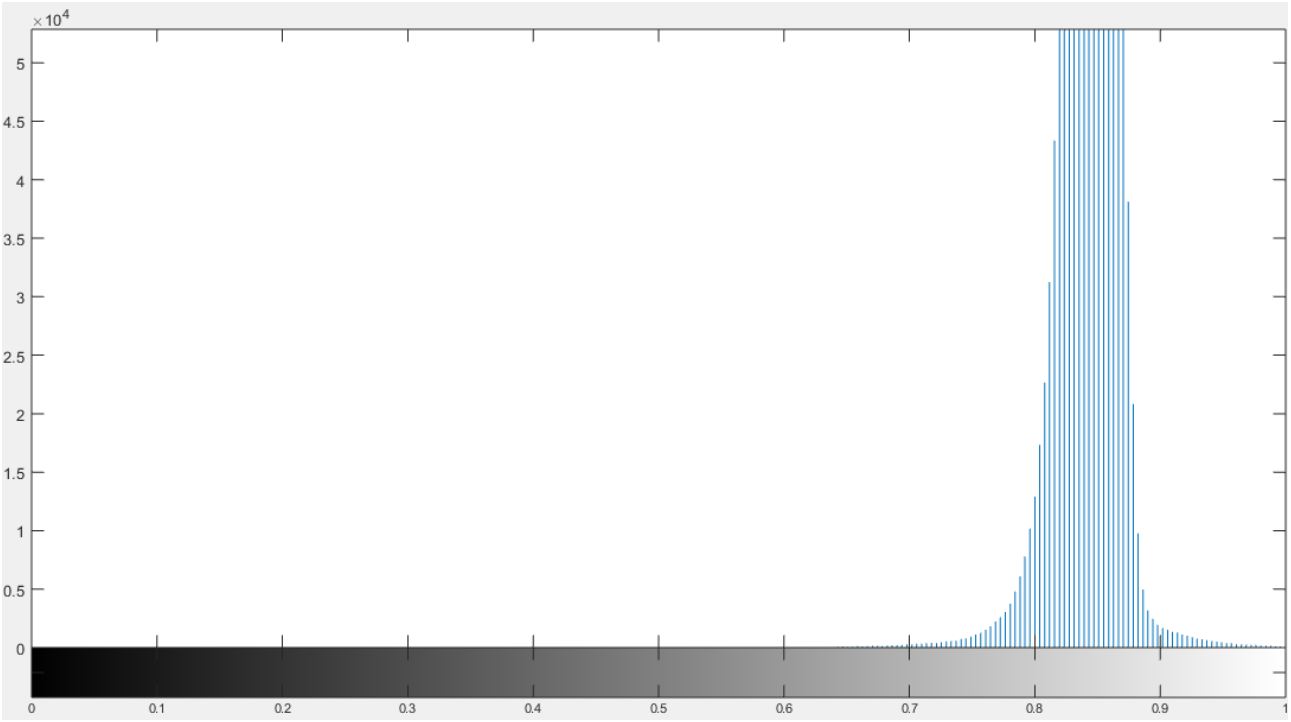
Tentativa 1.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

O processo de procura dos padrões circulares foi feito usando o comando imfindcircles, primeiro procurando os círculos grandes. Os inputs deste comando seriam o intervalo de raio do círculo que se deseja achar e a sensibilidade com que se deseja achar os círculos.

Em seguida, foi criado um histograma utilizando o comando *imhist*, para visualizar a frequência dos valores dos pixels. No histograma gerado, se estimaram valores entre 0,8 e 0,85 como os valores com maior número de pixels.

Figura 8 - Histograma de uma imagem correspondente ao parasitismo de sete dias. No eixo x representa a intensidade do espectro cinza com valores de 0 a 1 e o eixo y representa a frequência com que esses valores se repetem. Vemos que a colunas foram cortadas automaticamente devido a que os valores entre 0,82 e 0,87 tem frequências desproporcionalmente altas.



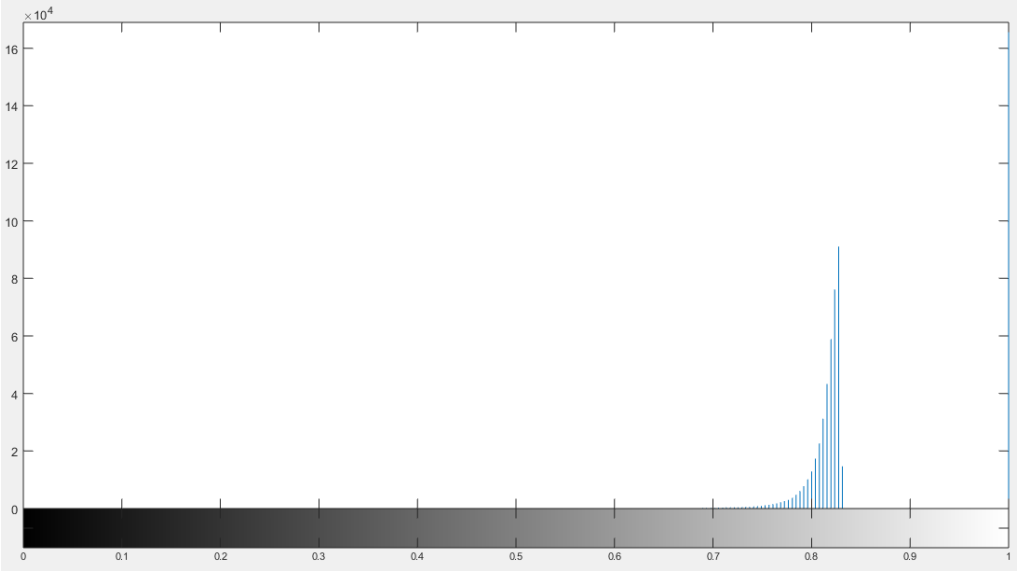
Fonte: Do autor.

Na sequência foi aplicado um filtro de tipo *thresholding* local, com um limite

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

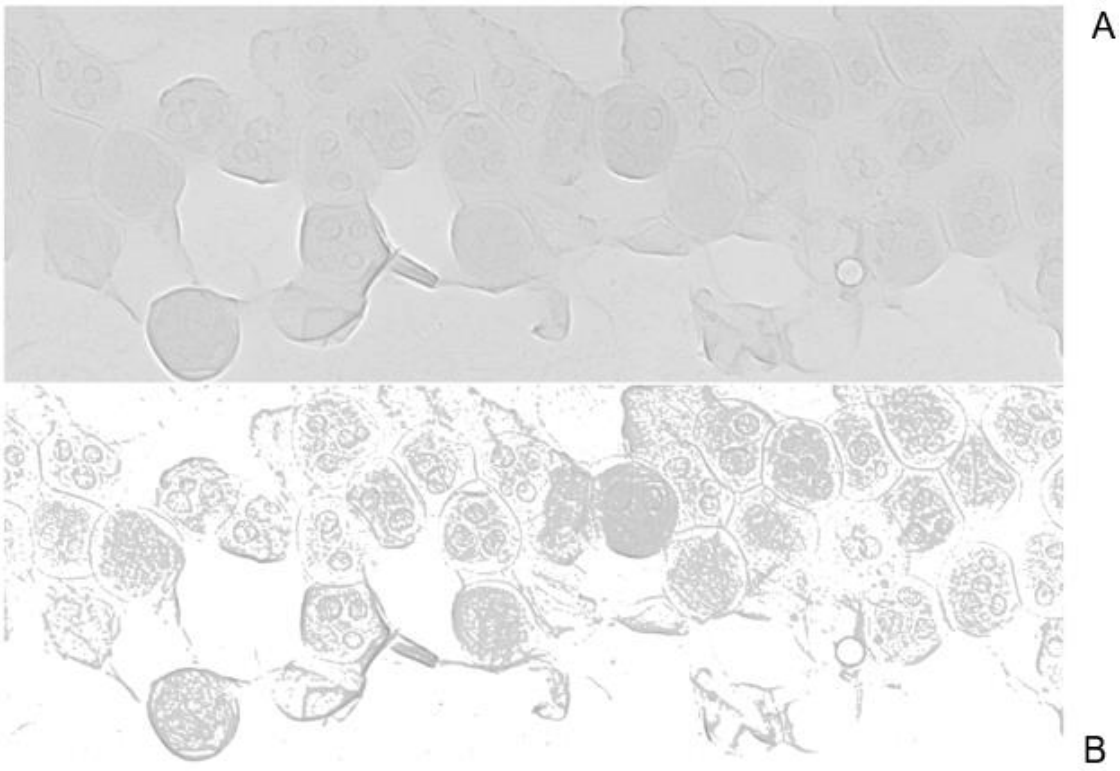
entre 0,8 e 0,85 do intervalo de valores dos pixels. Depois de várias tentativas, optou-se pelo valor 0,83 por ter melhor resultado na hora de filtrar a imagem deixando os círculos mais nítidos. Assim, o histograma resultante depois da aplicação deste filtro é mostrado na Figura 9. Na Figura 10 podemos ver a imagem antes da aplicação (Figura 10A) do filtro e depois da aplicação do filtro (Figura 10B).

Figura 9 – Efeito da aplicação do filtro no histograma. Podemos ver que a frequência no valor 1 de valores dos pixels (eixo x) foi drasticamente aumentado.



Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

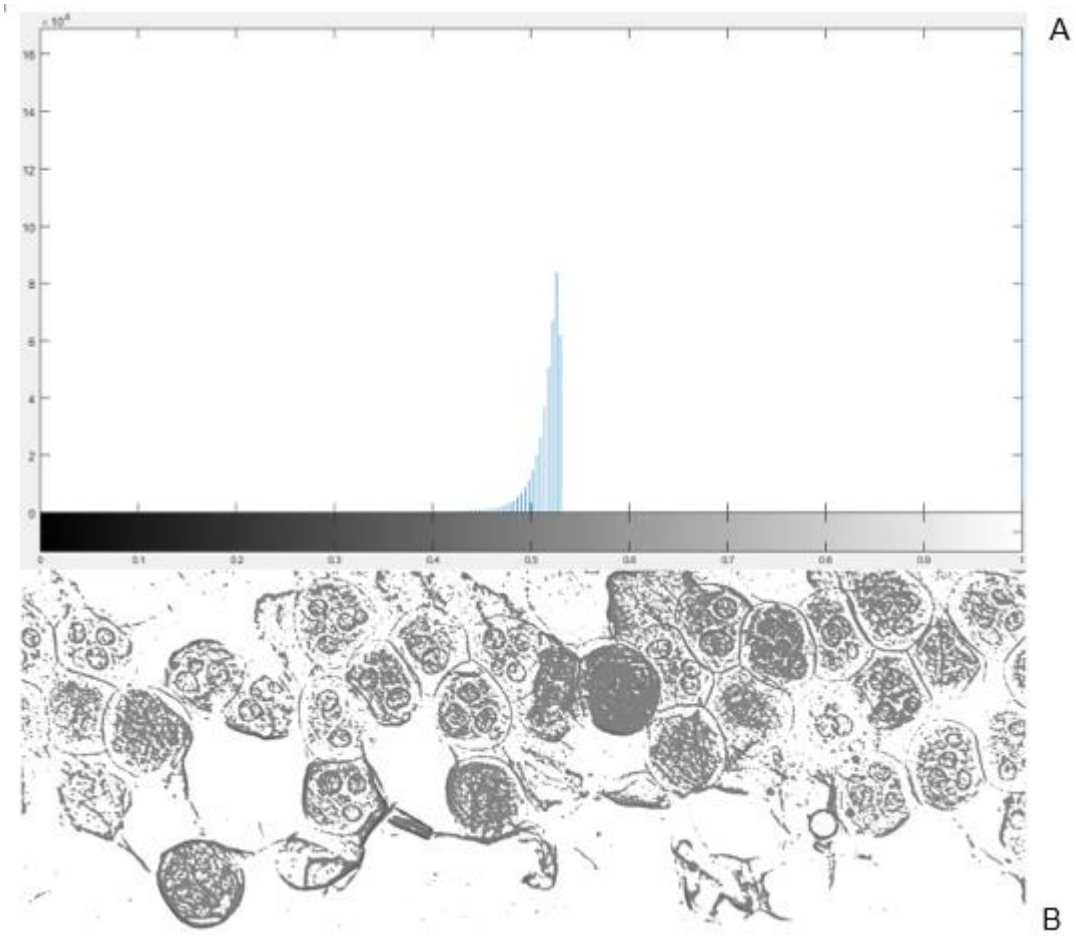
Figura 10 – A: antes de aplicar o filtro. B: depois de aplicar o filtro.



Como a aplicação do filtro na Figura 10 resultou em uma imagem muito clara (o que dificulta o reconhecimento de círculos) aplica-se um outro filtro que traslade os valores dos pixels para valores mais próximos de zero (neste caso 0,5). Podemos ver o resultado na Figura 11.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

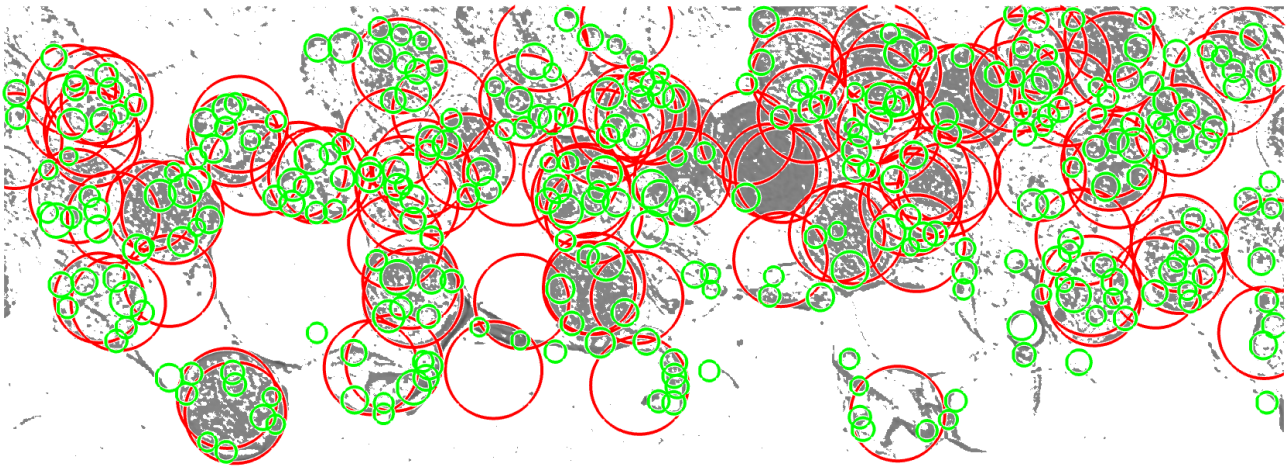
Figura 11 – A: histograma da imagem depois de aplicada o filtro de translação. B: resultado visual da aplicação do filtro.



Então, aplicando o comando *imfindcircles*, na Figura 12 podemos ver o resultado do reconhecimento dos círculos grandes.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

Figura 12 – Em círculo vermelho os padrões circulares grandes e em verdes padrões circulares pequenos que formam identificados.



Tentativa 2.

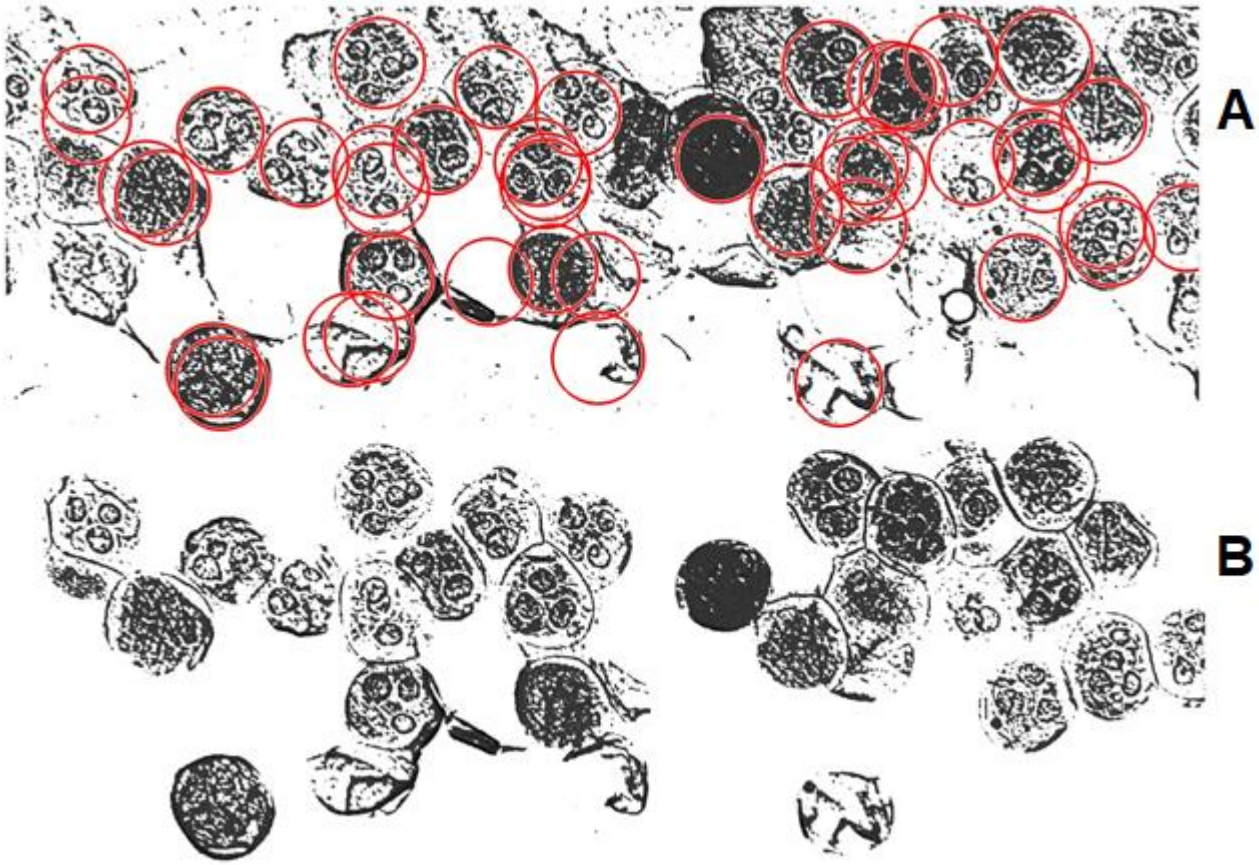
Com os outputs do comando dos círculos grandes, foi feito um filtro condicional. Esse filtro condicional funciona calculando distâncias euclidianas usando o centro do círculo e o raio. A todo pixel fora desse círculo é atribuído o valor zero.

O resultado obtido é de uma imagem onde só apareceram as regiões dentro dos círculos com o intuito de otimizar a procura dos círculos menores. O porém deste filtro, é o tamanho da imagem e o consequente tempo de processamento., O algoritmo precisa testar, pixel por pixel, para alterar o seu valor. Como a imagem tem um tamanho de $2048\ x\ 1200$ pixels, a quantidade de vezes que se calcula a distância euclidiana era de $(2048\ x\ 1200 - 1)$ vezes a quantidade de centros dos círculos grandes. O tempo de processamento, medido pelo Matlab, leva aproximadamente uma hora.

Com filtros de Sobel e de translação, se obteve melhoria na procura de círculos como podemos ver na Figura 13:

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

Figura 13 – A: círculos grandes identificados. B: regiões delimitadas pelos círculos grandes.



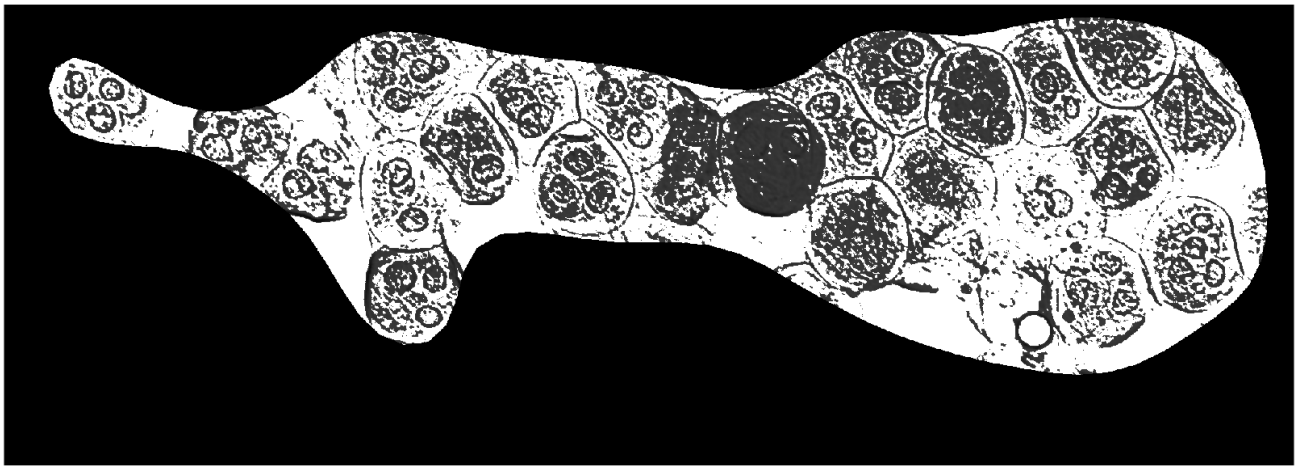
Tentativa 3.

Aqui, com o fim de otimizar o tempo de processamento, a imagem foi cortada manualmente usando as rotinas de contorno ativo (*active contour*). Através do comando *Snake2D*, faz-se a delimitação da área ao redor dos ovos grandes. Também, a fim de maximizar o contraste da imagem aplica-se duas vezes o filtro de translação (ANEXO

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

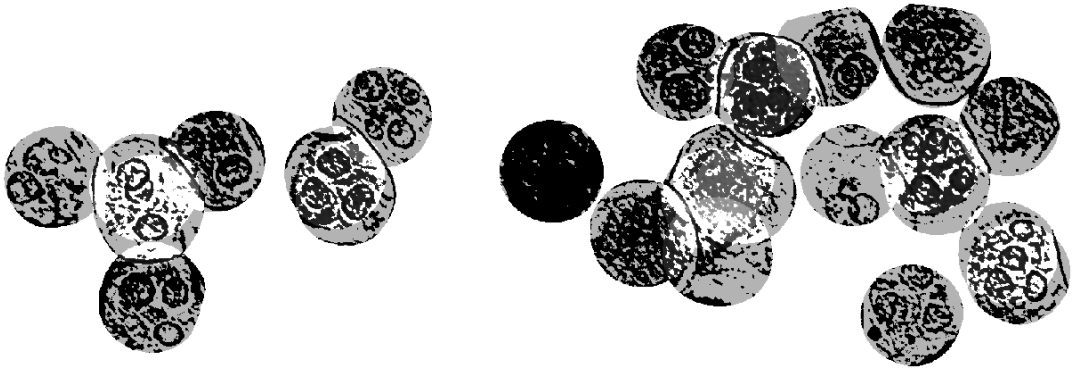
A: comando *filtcut*).

Figura 14 – Area limitada pelo Snake2D com pontos selecionados manualmente.



Agora, usando o mesmo intuito da Tentativa 1, cria-se um filtro condicional, delimitando as regiões dentro dos ovos grandes, agora utilizando os outputs de *imfindcircles* para definir quatro pontos sobre cada círculo. Com esses pontos utiliza-se novamente o *Snake2D*, a fim de delimitar. mais uma vez, as regiões, agora especificamente, dentro dos ovos de mariposa. Figura 14.

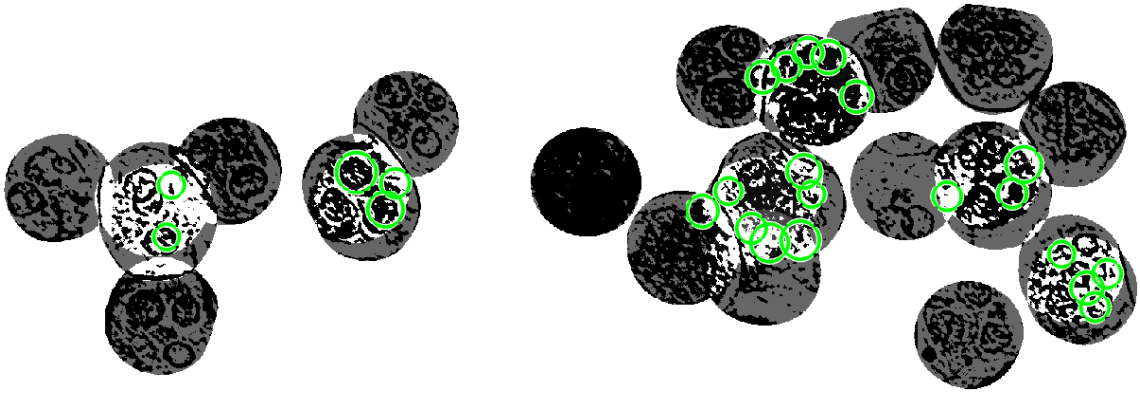
Figura 15 – A: Região extraída pelo Snake2D aplicada a cada circulo



Agora, as áreas restritas aos ovos de mariposa, aplica-se, novamente, o ***imfindcircles*** para identificar os ovos pequenos (Figura 16).

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

Figura 16 – Ovos pequenos identificados dentro das regiões cortadas.



Vemos que existem áreas mais escuras. Isso ocorre porque, ao gerar uma região circular, cria-se uma matriz do tamanho da imagem original e depois no final, todas as matrizes são somadas, o que gera redundância no resultado final dos valores dos pixels. Assim, é preciso modificar os filtros Sobel e de translação para poder eliminar essas anomalias da imagem.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa concentrou-se no desenvolvimento e implementação de rotinas de processamento de imagens de radiografia de Raios X dos ovos parasitados obtidas *ELETTRA SINCROTRONE TRIESTE*, para o reconhecimento automático de padrões de parasitismo em ovos da lagarta –de soja *Anticarsia gemmatalis*. O estudo abordou a utilização de técnicas avançadas de processamento digital de imagens para analisar as radiografias e identificar padrões específicos relacionados ao parasitismo.

A relevância deste tema é destacada pela importância econômica da produção de grãos, especialmente da soja, no Brasil, e pelos desafios associados ao controle de pragas que impactam diretamente a produtividade agrícola. Os resultados obtidos demonstraram avanços no reconhecimento automático de ovos parasitados, utilizando técnicas de processamento de imagens. As tentativas de identificação dos ovos, através de reconhecimento de círculos grandes e pequenos, foram detalhadas, destacando os desafios enfrentados e as melhorias implementadas ao longo do processo. A aplicação de filtros, como o *thresholding* local, filtros de *Sobel*, e a técnica de contorno ativo (*Snake2D*), mostrou-se eficaz na melhoria da precisão na identificação dos padrões de parasitismo.

Os objetivos inicialmente propostos, relacionados ao desenvolvimento de rotinas de processamento de imagens para fragmentação de padrões de parasitismo, foram parcialmente alcançados. A pesquisa proporcionou uma compreensão aprofundada das técnicas de processamento de imagens aplicadas a radiografias de raios x. A metodologia utilizada precisa ser aprofundada com vistas a identificar os padrões com melhor eficácia, possibilitando a fragmentação com maior precisão visando futuros estudos de redes neurais artificiais para reconhecimento automático dos padrões.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

ANEXO A: MACROS UTILIZADAS

PRÉ-PROCESSAMENTO

```
function TESTE6=R
%clc, clear all, close all;
n=1;
count=10;

for i=1:count
 myfilename_1=sprintf('PA_EGGS_7DAYS_150CM_DARK_00%d.TIF',i);
 myfilename_2=sprintf('pa_eggs_7days_150cm_0%d.tif',i);
 myfilename_3=sprintf('pa_eggs_7days_150cm_0%d_flat.tif',i);
 A1=imread(myfilename_1);
 B1=imread(myfilename_2);
 C1=imread(myfilename_3);
 A1=double(A1);
 B1=double(B1);
 C1=double(C1);
     if i==1
        A2=zeros(size(A1));
        B2=zeros(size(B1));
        C2=zeros(size(C1));
     end
 A3=A2+A1;
 B3=B2+B1;
 C3=C2+C1;
 A2=A3;
 B2=B3;
 C2=C3;
 %R=(B2-A2)./(C2-A2);
end
R=(B2-A2)./(C2-A2);
im=R;
n=fix(size(im,1)/1.37);
R=im(1:n,:,:);
SI=size(R);
m=fix(size(R,1)/6);
R=im(m+1:SI(1),:,:);
TESTE6=R;
imshow(TESTE6);
%%
%imshow(R,[0.8 0.9]);
%imshow(R(1,1));
```

FILTRO DE TRANSLAÇÃO

```
function res=filtcut(R)
S=R-0.3*ones(size(R));
SZ=size(S);
T=S;
m=mode(S(:));
%U=ones(SZ)
%imshow(R-U*0.56);
for i=1:SZ(1)
    for j=1:SZ(2)
        %if (R(i,j)>0.8) && (R(i,j)<0.9)
```

```
        if T(i,j)== m %%
            T(i,j)=1;
        %else
         %   R(i,j)=1;
        end
    end
end
res=T;
figure,imshow(T);
%figure,imhist(T);
```

FILTRO SOBEL

```
function mostra=FILTRO(R,p)

SZ=size(R);
T=R;
for i=1:SZ(1)
    for j=1:SZ(2)
        if T(i,j)>p
            T(i,j)=1;
        %else
         %   R(i,j)=1;
        end
    end
end
mostra=T;
```

TENTATIVA 1

```
addpath 'C:\Users\HP\OneDrive\TCC-ovos parasitados\pa_eggs_7days'
addpath 'C:\Users\HP\OneDrive\TCC-ovos parasitados\pa_eggs_7days\Macro3'
R=TESTE6; %Para tirar a matriz da figura R

T=FILTRO(R,0.83);
U=filtcut(T);% U=filtcut(U); U=filtcut(U);
D=U;
figure, imshow(D);


% GRAYSLICE Cria uma imagem indexada da imagem de intensidade por limiarização.
% Im_thr = R;
% Im_thr = -ind2gray(Im_thr,gray(2))+1;
Im_thr=D;
figure(3)
imshow(Im_thr)
[cor,rad]=imfindcircles(Im_thr,[70 85],'ObjectPolarity','dark', 'sensitivity',
.9914);
viscircles(cor,rad,'EdgeColor','r');

[cor,rad]=imfindcircles(Im_thr,[13 30],'ObjectPolarity','dark', 'sensitivity',
.962);
viscircles(cor,rad,'EdgeColor','g');
```

TENTATIVA 2

```
%LIMITAR AS REGIOES DE CIRCULOS VERMELHOS DO ALGORITMO DE
%fCIRCULOsegmentado da primeira segmentacao (OBS: demora MUITO)

addpath 'C:\Users\HP\OneDrive\TCC-ovos parasitados\pa_eggs_7days'
R=TESTE6;
T=FILTRO(R,0.83); U=filtcut(filtcut(T));
%%
%FILTRO

P = U;
SZ=size(P);

%P = -ind2gray(P,gray(2))+1; %filtro de branco e preto
%%
%PROCURA OS CIRCULOS GRANDES
figure,imshow(P)
[cor1,rad1]=imfindcircles(P,[70 85],'ObjectPolarity','dark', 'sensitivity',
.99); %para achar 4 circulos .99143
viscircles(cor1,rad1,'EdgeColor','r');
H=10*ones(size(R));
%%
%SELECIONA AS REGIONES SÓ DENTRO DOS CIRCULOS ACHADOS ANTERIORMENTE
sz=size(cor1);
Q=P;
tic %%para medir o tempo do loop
for k=1:sz(1) %contador para a o centro dos circulos
    for j=1:SZ(1) %contador para o eixo y
        for i=1:SZ(2) %contador para o eixo x
            d = pdist([[i,j];cor1(k,:)],'euclidean');
            if d<85
                H(j,i)=Q(j,i);
            end

        end
    end
end

figure,imshow(H);
toc
```

TENTATIVA 3

```
%%
addpath 'C:\Users\HP\OneDrive\TCC-ovos parasitados\pa_eggs_7days'
addpath 'C:\Users\HP\OneDrive\TCC-ovos parasitados\pa_eggs_7days\Macro3'
R=TESTE6; %Para tirar a matriz da figura R
%%
%T=R;
T=FILTRO(R,0.83);
U=filtcut(filtcut(T));% U=filtcut(U); U=filtcut(U);
D=U;
figure, imshow(D);
%%
[yimage,ximage] = getpts;

PP_FULL_IMAGE=[ximage(:) yimage(:)] % OS VALORES DAS COLUNAS ESTAO INVERTIDAS!!!
```

```
hold on;
plot(PP_FULL_IMAGE(:,2),PP_FULL_IMAGE(:,1),'w-');
hold on;
title('Seleção da imagem para atenuação dos phase jumps e procura dos ovos')
keyboard
%%%
Options=struct;
Options.Verbose=true;
Options.Iterations=2;
Options.Sigma1=5;
[O_IMAGE,J_IMAGE]=Snake2D(D,PP_FULL_IMAGE,Options);
figure, imshow(D,[]);
hold on; plot([O_IMAGE(:,2);O_IMAGE(1,2)],[O_IMAGE(:,1);O_IMAGE(1,1)],'r-.');
%%%
K_IMAGE=J_IMAGE;
Y_IMAGE=K_IMAGE.*D;
figure
imshow (Y_IMAGE,[])
%%%
P = Y_IMAGE;
SZ=size(P);

figure,imshow(P)
[cor1,rad1]=imfindcircles(P,[70 85],'ObjectPolarity','dark', 'sensitivity',
.99); %para achar 4 circulos .99143
viscircles(cor1,rad1,'EdgeColor','r');
%H=10*ones(size(R));
%%%
PC{1}(:,1)=cor1(:,1)+rad1;  %x del primer punto de un circulo
PC{1}(:,2)=cor1(:,2);       %y del primer punto de un circulo

PC{2}(:,1)=cor1(:,1);       %x del 2do punto de un circulo
PC{2}(:,2)=cor1(:,2)-rad1;

PC{3}(:,1)=cor1(:,1)-rad1;  %x del 3er punto de un circulo
PC{3}(:,2)=cor1(:,2);

PC{4}(:,1)=cor1(:,1);
PC{4}(:,2)=cor1(:,2)+rad1;
%%% COLETAR PONTOS PARA FAZER O SNAKE SOBRE OS CIRCULOS

szr=size(rad1); %numero de circulos: szr(1)

% for k=1:szr(1)
%     [yc,xc] = getpts;
%
%     PP(k)={[xc(:) yc(:)]} % cada PP corresponde al conjunto de puntos de un
circulo
% end
for k=1: szr(1)
    for p=1:4 %procuar quantidade minima de pontos para fazer um circulo
perfeito com snake
        PP{k}(p,:)=PC{p}(k,:);
    end
end
%%
figure,imshow(P);

hold on;
```

```
for i=1:szr(1)
    plot(PP{i}(:,1),PP{i}(:,2),'w-');

end
    hold on;
    title('Seleção da imagem para atenuação dos phase jumps e procura dos ovos')
%keyboard

% %% COLETAR PONTOS PARA FAZER O SNAKE SOBRE OS CIRCULOS
% for i=1:3
%     [yc,xc] = getpts;
%
%     PP(i)={[xc(:) yc(:)]}
% end
%
%     hold on;
%
% for i=1:3
%     plot(PP{i}(:,2),PP{i}(:,1),'w-');
%
% end
%     hold on;
%     title('Seleção da imagem para atenuação dos phase jumps e procura dos
ovos')
% keyboard

%% FAZER UM SNAKE INDIVIDUAL POR CADA CIRCULO GRANDE
 figure, imshow(P,[]);
 hold on
for i=1:szr(1)
    Options=struct;
    Options.Verbose=true;
    Options.Iterations=2;
    Options.Sigma1=5;
    V=[PP{i}(:,2),PP{i}(:,1)];
    [O_c,J_c]=Snake2D(P,V,Options); %%OLHO AQUI COM O_c E J_c
    J_cc{i}=J_c;
    hold on;
    plot([O_c(:,2);O_c(1,2)],[O_c(:,1);O_c(1,1)],'r-.');% sera que este nao vai
dentro do for
    clear O_c
end
%     figure, imshow(D,[]);
%     hold on; plot([O_c(:,2);O_c(1,2)],[O_c(:,1);O_c(1,1)],'r-.');% sera que
este nao vai dentro do for
%
%%
    J_ccS=zeros(size(J_cc{1})); %ones para escalas de grises de [0,1]
for i=1:szr(1)
    J_ccS=J_cc{i}+J_ccS;
    %figure,imshow(J_ccS);
end
K_c=J_ccS;
Y_c=K_c.*P;
figure, imshow (Y_c);
%% COM FILTRO
 [cor2,rad2]=imfindcircles(filtcut(filtcut(Y_c)),[15
30],'ObjectPolarity','bright', 'sensitivity', 0.9555);
 viscircles(cor2,rad2,'EdgeColor','g');

 %figure,imshow(P);
```

```
%% COM FILTRO QUE COMPLETA AS BORDAS
UU=imdilate(Y_c,strel('disk',2));
[cor2,rad2]=imfindcircles((UU),[15 30],'ObjectPolarity','bright', 'sensitivity',
0.9);
 viscircles(cor2,rad2,'EdgeColor','g');
%% SEM NADA
[cor2,rad2]=imfindcircles(Y_c,[20 23],'ObjectPolarity','bright', 'sensitivity',
0.92);
 viscircles(cor2,rad2,'EdgeColor','g');
```

REFERÊNCIAS

AISHWARYA, K. M. et al. **Digital Image Processing**. [s.l.] Elsevier Ltd, 2011. v. 73

AISHWARYA, K. M. et al. Lossy image compression using SVD coding algorithm. **Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking, WiSPNET 2016**, p. 1384–1389, 2016.

BENEDETTI, D. et al. Genetic damage in soybean workers exposed to pesticides: Evaluation with the comet and buccal micronucleus cytome assays. **Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 752, n. 1–2, p. 28–33, 2013.

BUENO, A. DE F.; BATISTELA, M. J.; MOSCARDI, F. Níveis de desfolha tolerados na cultura da soja sem a ocorrência de prejuízos à produtividade. **Circular Técnica**, v. 79, 2010.

CHAPLE, G. N.; DARUWALA, R. D.; GOFANE, M. S. Comparisions of Robert, Prewitt, Sobel operator based edge detection methods for real time uses on FPGA. **Proceedings - International Conference on Technologies for Sustainable Development, ICTSD 2015**, n. 1, p. 4–7, 2015.

CHUDASAMA, D. et al. Image Segmentation using Morphological Operations Diya. **Advances in Modelling and Analysis B**, v. 49, n. 3–4, p. 75–85, 2015.

CONAB-BRAZILIAN NATIONAL FOOD SUPPLY AGENCY [COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO]. Acompanhamento da Safra Brasileira. **Boletim da Safra 2021**, v. 9, n. Terceiro levantamento, p. 60, 2022.

CONTE, O. et al. Resultados do manejo integrado de pragas da soja na safra 2019/2020 no Paraná. 2020.

DE QUEIROZ, A. P. et al. Effects of parasitoid and host age on the parasitism of Trichogramma pretiosum on eggs of Anticarsia gemmatalis. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 64, n. 2, p. 3–7, 2020.

DONGARE-MAHABARE, T. Pattern Recognition Methods in Image Processing. p. 151–155, 2017.

FOERSTER, M. R.; MARCHIORO, C. A.; FOERSTER, L. A. How Trichogramma survives during soybean offseason in Southern Brazil and the implications for its success as a biocontrol agent. **BioControl**, v. 60, n. 1, p. 1–11, 2015.

GONZALEZ, R. C.; RICHARD E. WOODS. **Digital Image Processing**. [s.l: s.n.].

GRADL, R. et al. Propagation-based Phase-Contrast X-ray Imaging at a Compact Light Source. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–9, 2017.

HARALICK, Robert M.; STERNBERG, Stanley R.; ZHUANG, Xinhua. **Image analysis using mathematical morphology**. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, n. 4, p. 532-550, 1987.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

HARALICK, Robert M.; SHAPIRO, Linda G. **Computer and Robot Vision (Volume 1). 1. ed**. New York: Addison-Wesley, 1991

HOFFMANN-CAMPO, C. B. et al. PRAGAS DA SOJA NO BRASIL E SEU MANEJO INTEGRADO. **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**, p. 37–74, 2000.

İLHAN, İ. A cross-platform test tool for digital image processing. **Multimedia Tools and Applications**, v. 80, n. 8, p. 12249–12273, 2021.

JAMES, D. G. **The book of caterpillars : a life-size guide to six hundred species from around the world**. [s.l: s.n.].

JUNG, H. W. et al. Automated detection of circular marker particles in synchrotron phase contrast X-ray images of live mouse nasal airways for mucociliary transit assessment. **Expert Systems with Applications**, v. 73, p. 57–68, 2017.

LIU, Y. et al. Recent advances in synchrotron-based hard x-ray phase contrast imaging. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 46, n. 49, 2013.

MICHELONI, C.; FORESTI, G. L.; SNIDARO, L. INTELLIGENT DISTRIBUTED SURVEILLANCE SYSTEMS A network of co-operative cameras for visual surveillance. **Image (Rochester, N.Y.)**, v. 152, n. 3, p. 205–212, 2005.

MOMOSE, A. Development toward high-resolution X-ray phase imaging. **Microscopy**, v. 66, n. 3, p. 155–166, 2017.

NOHATTO, M. J.; HENNIGEN, F. J.; GARCIA, F. R. M. Avaliação de diferentes concentrações de baculovírus anticarsia (AgMNPV) no controle de Anticarsia gemmatalis (Lepidoptera, Noctuidae) em lavoura de soja. **Revista de ciências ambientais**, v. 4, n. 1, p. 65–76, 2010.

OLIVEIRA, H. N. DE. Controle biológico de pragas no Centro-Oeste brasileiro. p. 11–14, 2009.

PAREKH, R. **Fundamentals of IMAGE, AUDIO, and VIDEO PROCESSING Using MATLAB®**. [s.l: s.n.]. v. 1

RAHMAN, M. **Applications of Fourier Transforms to Generalized Functions**. [s.l: s.n.].

RICARDO, K. et al. Consequences of different pesticide emissions modelling : case study for soybean crop in Brazil. p. 1–12, 2021.

ROSSETTO, R.; DIAS SANTIAGO, A. **ÁRVORE DO CONHECIMENTO Cana-de-Açuca**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_53_711200516718.html>. Acesso em: 5 mar. 2022.

SEERAM, E. Digital Radiography: An Overview. **Digital Radiography**, p. 1–19, 2019.

SHARMA, P.; KAUR, M. Classification in Pattern Recognition: A Review. **International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering**, v. 3, n. 4, p. 2277–128, 2013.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07

SILVA, M. T. B. DA; COSTA, E. C.; BOSS, A. Controle de Anticarsia gemmatalis Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) com reguladores de crescimento de insetos. **Ciência Rural**, v. 33, n. 4, p. 601–605, 2003.

SIMONATO, J.; GRIGOLLI, J. F. J.; OLIVEIRA, H. N. Controle biológico de insetos-praga na soja. **Manejo Integrado de Pragas**, p. 178–193, 2014.

SOCHA, J. J. et al. Real-time phase-contrast x-ray imaging: A new technique for the study of animal form and function. **BMC Biology**, v. 5, n. 1, p. 1–15, 1 mar. 2007.

TAO, S. et al. Principles of different x-ray phase-contrast imaging: A review. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 11, n. 7, 2021.

UENO, T. et al. Image Processing Toolbox ™ 6 User ' s Guide. **Image Processing**, v. 78, n. 0022-3042 LA-eng PT-Journal Article, p. 1009–1018, 2001.

WEBER, L. et al. Registration of phase-contrast images in propagation-based X-ray phase tomography. **Journal of Microscopy**, v. 269, n. 1, p. 36–47, 1 jan. 2018.

.

Versão Final Homologada
23/07/2024 08:07