

Estudo Comparativo de Opções de Software de Processamento Digital de Imagens para Análise de Sementes

Teruo Matos Maruyama, Sergio Silva Ribeiro, Alaine Margarete Guimarães

Departamento de Informática – Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)
Ponta Grossa – PR – Brasil

shinigam8@gmail.com, professor@sergioribeiro.com.br, alainemg@uepg.br

***Abstract.** The seed analysis is a study area of great importance for the Agriculture, and there are national and international rules that guide the analysis and test process, so that it can produce high quality seeds, and avoid the diseases proliferation. Over the years specific software systems were developed, which make use of digital image processing techniques, to assist on seed analysis process. The objective of this paper was state the software system used in scientific papers, during the period from 2010 to 2014, evidencing their great potential in agriculture.*

***Keywords:** Digital Image Processing, Image Analysis of Seed, Software.*

***Resumo.** A análise de sementes é uma área de estudo de grande importância para a Agricultura, e existem regras nacionais e internacionais que orientam o processo de análise e teste, para que se possam produzir sementes de altíssima qualidade, e evitar proliferação de doenças. Ao longo dos anos foram desenvolvidos sistemas de software específicos, que fazem uso das técnicas de processamento digital de imagem, para auxiliar no processo de análise de sementes. O objetivo deste trabalho foi expor o uso de alguns destes sistemas de software em trabalhos científicos, durante o período de 2010 a 2014, evidenciando o grande potencial que possuem na agricultura.*

***Palavras-chave:** PDI, Análise de Imagens de Sementes, Software.*

1. Introdução

Cientistas da Computação e Biólogos têm desenvolvido soluções de software para manipular os dados de Imagens. Muitas vezes, são desenvolvidas para aplicações específicas, por exemplo, a reconstrução completa em 3D de sistemas radiculares ou análise de características morfológicas de sementes. Infelizmente, o constante crescimento do número de ferramentas disponíveis e a diversidade de meios de comunicação da comunidade científica, tornam difícil para os não especialistas a descoberta da solução mais apropriada para o respectivo problema (LOBET et al., 2013). Diante dos fatos expostos, Lobet et al. (2013) criaram uma plataforma online que referencia os sistemas de software de análise de imagens de plantas disponíveis e possibilita o cadastro de novas ferramentas. Esta plataforma se encontra disponível em: www.plant-image-analysis.org

O principal objetivo do presente trabalho foi expor o uso de alguns destes sistemas de software, em trabalhos científicos, que contribuíssem com a agricultura. Portanto, para a confecção do presente trabalho, foi realizado um levantamento de artigos científicos publicados em periódicos durante o período de 2010 a 2014. Os respectivos artigos abordam a técnica de processamento digital de imagens aplicada a análise de sementes. Além disso, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o desenvolvimento histórico do processo de análise de sementes, no Brasil e no mundo. É necessário conhecer o progresso deste processo para compreendermos melhor as circunstâncias e finalidades das abordagens adotadas.

As próximas seções estarão organizadas da seguinte maneira: na seção 2 é descrito o conceito de semente e a importância das sementes para os seres humanos e a agricultura. Ainda na seção 2, é exposto um breve histórico do processo de análise de sementes. Na seção 3 é apresentado o conceito de processamento digital de imagens e as respectivas etapas constituintes. Na seção 4 são apresentados os sistemas de software, identificados nos artigos levantados, de processamento digital de imagens aplicados a análise de sementes. Na seção 5 são apresentados os resultados e discussão a respeito dos artigos encontrados na literatura. Por fim, na seção 6, estão as considerações finais.

2. Sementes

A semente é a parte reprodutora dos vegetais superiores, em geral esta compreendida por: tegumento, cotilédones, região da plúmula e radícula (BRASIL, 2009, p. 340). São o meio utilizado pelas plantas para a sua evolução e são indispensáveis como fonte de alimento e material para novas culturas. A produção de sementes de alta qualidade, tratamentos, armazenagem, entre outros, são temas amplamente pesquisados, dada sua importância. Na agricultura o benefício relacionado ao uso de sementes de alta qualidade incluem: aumento de produção e produtividade; uso mais eficiente de fertilizantes, irrigação e pesticidas; reposição periódica de cultivares por outras de qualidade superior mais rápidas; redução dos problemas com plantas daninhas, doenças e pragas. A qualidade da semente está relacionada aos atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários (PESKE, 2006; ACTON, 2012).

Regras nacionais e internacionais de sementes, apresentam instruções para testes de avaliação física, fisiológica, fitossanitárias e vigor (internacionais) estabelecendo assim padronizações e adicionalmente indicam um número mínimo e métodos de amostragem de cada espécie, o substrato, a temperatura, o tempo requerido e para sementes dormentes, tratamentos específicos para a condução dos testes. Para os testes físicos as regras tratam da pureza, umidade, e peso de mil sementes. O teste de germinação determina o potencial germinativo de um lote. O de tetrazólio é um teste bioquímico que analisam viabilidade e vigor. Os fitossanitários são utilizados em circunstâncias específicas para o diagnóstico da presença de determinado patógeno por suspeita ou prevenção de possível disseminação de alguma doença (DELWING, 2006).

2.1. Histórico das Sementes

Através de estudos realizados, estima-se que a cerca de 10 mil anos o homem constatou que as sementes, quando semeadas em condições apropriadas, dão origem a uma planta idêntica àquela que a formou. Esta por sua vez multiplicaria dezenas, ou até centenas de

vezes a semente original. Este fato, para nós hoje considerado comum, deve ter encadeado uma série de mudanças nos hábitos e costumes dos seres humanos. Os humanos que até então eram nômades e sobreviviam principalmente da caça, passaram a considerar as sementes como material de grande importância (PALAGI, 2004).

A história da agricultura demonstra que os primeiros contatos entre o homem e a fisiologia de sementes foram estabelecidos no século LXXX a.C. No século IV a. C., Teofrasto é citado como primeiro pesquisador a realizar estudos documentados na área da fisiologia de sementes, ao desenvolver trabalhos sobre a transferência de matéria seca (planta/sementes e a fisiologia da germinação). Segundo historiadores, as pesquisas praticamente estagnaram entre 280 a.C. e o ano de 1800. Elas foram impulsionadas no século XIX graças, principalmente, à repercussão das pesquisas conduzidas por Sachs em 1860, considerado o "pai da moderna fisiologia de sementes", que estudou as temperaturas ideais para a germinação. Os trabalhos de Nobbe, que posteriormente originaram um livro sobre métodos para análise de sementes, também contribuíram para o avanço das pesquisas (PALAGI, 2004).

A revolução industrial proporcionou um grande progresso na produção de sementes devido a mecanização nos meios de produção e transporte. Consequentemente, isto resultou no aumento da concentração urbana, no surgimento de novas cidades, numa melhor e rápida colonização de continentes. Estes fatores contribuíram para o aumento da demanda na produção de alimentos e matéria-prima (PALAGI, 2004).

Com o aumento do comércio de sementes, começaram a surgir problemas. As adulterações para a venda eram comuns. As sementes boas eram misturadas com sementes de qualidade inferior, dificultando a distinção entre elas. Estas e outras práticas inescrupulosas estimularam um estudo mais profundo e aprimorado da tecnologia de sementes, e criação de laboratórios para análise de sementes. Deste modo, a análise de sementes originou-se através da necessidade de regulamentar o comércio, avaliar e definir padrões de qualidade, detectar fraudes e gerar conhecimento para os estabelecimentos legais (LIMA JUNIOR, 2010).

O estabelecimento de leis sobre sementes é datado de 1816, quando na Suíça surgiu o primeiro decreto proibindo a venda de sementes de trevo adulteradas. Décadas depois, em 1869, foi criado na Alemanha o primeiro laboratório de análise de sementes do mundo, chefiado por Nobbe. Com a repercussão dos trabalhos de Nobbe, a avaliação da qualidade fisiológica das sementes passou a ser efetuada rotineiramente. Já em 1908, foi criado nos Estados Unidos a AOSA (Association of Official Seed Analysis - Associação Oficial de Análise de Sementes), com o objetivo de reunir produtores, compradores, analistas e pesquisadores de sementes. Anos após, em 1921 foi realizada uma reunião em Copenhagen, Dinamarca, que deu origem a ISTA (International Seed Testing Association- Associação Internacional de Análise de Sementes). No Brasil, os poucos e esparsos documentos existentes indicam o ano de 1956, como sendo aquele em que, pela primeira vez, se estabeleceu um manual de Regras para Análise de Sementes (RAS). A iniciativa foi da Divisão de Sementes e Mudas da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo. Este manual foi posteriormente atualizado em 1963, 1967, 1976 e 1980 (PALAGI, 2004).

A Coordenação Geral de Apoio Laboratorial (CGAL), da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é

o órgão responsável pela Rede Nacional de Laboratórios Agropecuários do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária e possui dentre suas atribuições estabelecer, uniformizar e oficializar métodos para realização de análises. As RAS tiveram sua primeira edição pelo Ministério da Agricultura, em 1967 e desde então foram publicadas outras atualizações. Estas regras são atualizadas de acordo com as regras internacionais prescritas pela ISTA e incorporam a experiência e os avanços nacionais em análise de sementes. Elas tem como finalidade disponibilizar métodos para análise de sementes, sendo eles de uso obrigatório nos Laboratórios de Análise de Sementes credenciados no MAPA, objetivando o cumprimento da Lei nº 10.711, de 5 de agosto de 2003, publicada no Diário Oficial da União de 6 de agosto de 2003 e Decreto nº 5.153, de 23 de julho de 2004, publicado no Diário Oficial da União de 26 de julho de 2004 (BRASIL, 2009).

O sucessivo progresso do conhecimento sobre análise de sementes engloba estudos nas áreas de fisiologia, bioquímica, biologia molecular e biofísica. A análise de imagens é uma ferramenta relativamente recente, com grande potencial para estudos básicos e aplicados. Ferramenta esta que visa o esclarecimento de vários aspectos do comportamento das sementes. Ela tem auxiliado também no aperfeiçoamento das metodologias, que são empregadas na avaliação dos diversos atributos da qualidade de sementes. A atual situação do conhecimento sobre o potencial de utilização do processamento digital de imagens, em diversos segmentos da análise de sementes, ainda é muito restrita. Diante da ampla diversidade de espécies produzidas, sistemas de produção e problemas são imprescindíveis procedimentos para solução mais eficiente (SILVA et al., 2014).

3. Processamento Digital de Imagens

O processamento digital de imagens (PDI) é composto por diversas etapas, sendo as principais: aquisição da imagem, pré-processamento da imagem, segmentação, representação, descrição, reconhecimento e a interpretação. A aquisição é o processo de obtenção da imagem através de um sensor de imageamento capaz de digitalizar o sinal produzido. O pré-processamento da imagem consiste em melhorar a qualidade da imagem com o intuito de facilitar a aplicação das etapas subsequentes. O pré-processamento envolve técnicas para o realce de contrastes, remoção de ruídos e isolamento de regiões cuja textura indique a probabilidade de informação alfanumérica. A segmentação pode ser definida como o processo pelo qual a imagem de entrada é dividida em segmentos ou objetos constituintes. A representação é o modo adequado de representar os dados para um posterior processamento. A descrição, também conhecida como seleção de características, procura extrair características básicas (descritores) que diferenciem as classes de objetos. O reconhecimento é o processo que atribui um rótulo a um objeto, de acordo com a informação fornecida pelo respectivo descritor. Finalmente, a interpretação consiste na definição de significado a um conjunto de entidades rotuladas (GONZALEZ e WOODS, 2008).

4. Sistemas de Software Específicos

Relacionamos a seguir alguns aportes de software que utilizam PDI para a área de análise de sementes.

4.1 Germinator

O *Germinator* é um pacote de uso simples e eficiente em termos de custo e flexibilidade para pontuação e avaliação da germinação que pode ser implementado sem o uso de robótica. Contém três módulos: (i) projeto de montagem experimental com várias opções para replicar e randomizar amostras; (ii) de pontuação automática de germinação baseado no contraste de cor entre a radícula saliente e tegumento em uma única imagem; e (iii) ajuste de curva de dados cumulativos de germinação e a extração, recapitulação e visualização dos vários parâmetros de germinação. O módulo de ajuste de curvas permite a análise de dados de germinação cumulativos e pode ser utilizado para todas as espécies de plantas (ACTON, 2012; LOBET, 2013).

Acton (2012) discute sobre a utilização do *Germinator* como um sistema automático de scoring para germinação de sementes de *Arabidopsis thaliana* e *Brassica spp.* onde foi possível avaliar a variação natural de tolerância ao sal em uma grande população de linhagens recombinantes, e ainda conseguiram identificar vários locos de características quantitativas para tolerância ao sal. Neste estudo, o *Germinator* comprovou-se como software eficiente para o monitoramento de milhares de testes de germinação, que pode ser feito várias vezes ao dia, por uma única pessoa, com baixo custo.

Kodde et al. (2012) com o uso do *Germinator*, para o cálculo do tempo necessário para atingir 50% de germinação final, apresentaram um método rápido e simples para análise de deterioração de sementes de repolho, medindo a produção de etanol a partir de sementes parcialmente embebidas. Foi utilizado um analisador de hálito, que é mais simples comparado com a cromatografia gasosa ou procedimentos enzimáticos. A metodologia utilizou temperaturas elevadas de 40^oC ao invés de 20^oC, reduzindo assim o tempo de ensaio e aumentando sua sensibilidade. A análise mostrou uma correlação inversa entre a produção de etanol e a qualidade das sementes. Observou-se o aumento na produção de etanol quando as sementes de repolho deterioraram em armazenamento com condições ambientais, ou com tratamentos de água quente, os quais reduziram o número de plântulas normais. Sementes prematuras produziram mais etanol sob embebição do que sementes maduras. A produção de etanol ocorreu simultaneamente com o consumo de oxigênio, o que indica que a falta de oxigênio não é o gatilho principal para a produção de etanol.

4.2 Lemna Launcher

Lemna Launcher é uma suite que integra aplicações para o processamento digital de imagens, e que permite de forma fácil e rápida medições baseada em imagens, fornecendo dados correlacionados as propriedades genéticas de germinação e desempenho de crescimento (LOBET, 2013).

Acharjee et al. (2010) relatam que o grão de bico (*Cicer arietinum*), é uma leguminosa importante, como valiosa fonte de energia e proteína, para a alimentação humana e animal. Entretanto, ao longo dos anos, sua produção tem sido comprometida devido a estresse biótico e abiótico. *Helicoverpa armigera* foi responsável por perdas de US\$ 325.000.000 ao ano só nos Estados Unidos. Transformações genéticas com o gene cry1Ac apresentaram sucesso em relação ao problema. Em seu trabalho, apresentaram a produção de grão transgênico com um gene modificado, cry2Aa pela primeira vez, que é

uma versão melhorada do anterior. Neste trabalho usaram imagens tridimensionais, geradas com auxílio do LemnaTec ScanAnalyzer, onde as imagens das plantas do estudo eram registradas a cada 7 dias, a partir de 10 dias após sua germinação, até a floração. A área total da superfície das plantas foi determinada com o auxílio do software *Saw-Bonit LemnaTec*.

Segundo Golzarian et al. (2011) estimar uma usina de biomassa, com base em imagens bidimensionais, está se tornando cada vez mais importante. A abordagem predominante é de estimar a biomassa de uma planta, usando uma função linear da área projetada, tendo como base imagens de filmagens de plantas. Este método, segundo eles, não gera estimativas exatas. Apresentam então um método onde é modelado o peso seco da planta, em função da sua área e idade. Os dados utilizados foram coletados a partir de um experimento de blocos ao acaso, 320 plantas no total, de duas variedades de trigo, cultivados em hidroponia em um sistema de estufa. As imagens foram adquiridas pelo *LemnaTec 3D Scanalyser* e processadas pelo *Image Analyser LemnaTec 3D* para extração de suas informações. Os resultados da análise estatística mostraram, com este método, que a maior parte da variação pode ser explicada e, além disso, houve uma pequena diferença entre o peso seco real e estimado. O método foi validado também com um conjunto de dados independentes de cevada, mostrando assim que a técnica pode se estender a outras plantas.

4.3 SeedCount

Sistema de imagens digitais projetado especificamente para o setor de grãos. Utiliza aportes de software e a tecnologia do scanner de mesa de forma rápida e precisa para analisar uma amostra de grãos e determinar suas características físicas. Ele gera tabelas de dados detalhados que podem ser exportados para qualquer planilha ou programa de banco de dados, sem danificar a amostra de grãos (LOBET, 2013).

Hayes et al. (2012) avaliaram mais de 150 derivados de trigo para verificar a capacidade de recrescimento pós-colheita e rendimento de grãos ao longo de anos sucessivos, buscando identificar características comuns às linhagens sobreviventes. Para este estudo a morfologia das dimensões principais, tais como o comprimento e largura do núcleo do grão foram avaliados com a utilização do *SeedCount*.

Segundo Maphosa (2013) estresse abiótico incluindo altas temperaturas e déficit de umidade são prejudiciais a produção de trigo. Sob estresse abiótico características como rendimento, taxa de crescimento, expressão genética e qualidade são afetadas e as respostas podem envolver a interação de muitos genes. Seu trabalho se concentrou na qualidade final do grão de trigo, produzido sob altas temperaturas e escassez de água, usando o mapeamento de duas populações. *SeedCount* versão 2.0 foi usado neste trabalho para o cálculo das dimensões do grão, comprimento, largura, espessura, área, formato e circunferência.

4.4 SeedSize

Este algoritmo analisa as imagens produzidas por um scanner plano com sementes acamadas sobre a superfície do vidro. A análise descreve sementes detectadas e calcula as suas propriedades geométricas. Funciona como um módulo da plataforma web *Bisque* na infra-estrutura *iPlant* (LOBET, 2013).

Bisque é uma plataforma baseada na web projetado especificamente para fornecer aos pesquisadores ferramentas de análise organizacional e quantitativos para os dados de imagem 5D. Os usuários podem estender a plataforma com modelos de análise de dados e extensões, a fim de adaptar o sistema às suas necessidades. A extensibilidade do *Bisque* decorre de dois conceitos básicos: facilidade de metadados flexíveis, ou seja, criados pelos próprios usuários da plataforma e uma arquitetura baseada em web aberta (KVILEKVAL et al., 2010). Adicionalmente podemos citar os trabalhos de Brooks et. al. (2010) e Moore et. al. (2013).

4.5 SmartGrain

Software para a medição de alto rendimento. Este software utiliza um novo método de análise de imagens para reduzir o tempo necessário para a preparação das sementes e na captura de imagem. Os contornos das sementes são automaticamente reconhecidos a partir de imagens digitais. O software ainda permite calcular diversos parâmetros morfológicos da semente como comprimento, largura, área e perímetro. O software é gratuito para pesquisadores (LOBET, 2013; TANABATA et al., 2012).

Faroq et al. (2013) mencionam que a complexidade da inflorescência, forma e tamanho da semente estão entre as características que mais influenciam o rendimento. Métodos de fenotipagem manuais e de baixo rendimento consomem tempo e seus resultados não são confiáveis. Entretanto, análise de imagem de alto rendimento das características qualitativas e quantitativas das panículas de arroz, é essencial para compreender a diversidade da panícula, bem como para programas de melhoramento genético. Apresentam assim o software P-TRAP, uma aplicação de código livre para medições de alto rendimento da arquitetura da panícula e traços relacionados com sementes. Comparado os dados obtidos pelo processamento manual, P-TRAP produziu resultados confiáveis. Neste trabalho ao citarem o software Smartgrain, mencionam que ele não processa o grão ligado a panículas, mas apenas grãos individuais, o que caracteriza uma desvantagem.

4.6 WinSEEDLE

Sistema de análise de imagem projetado especificamente para agulhas (ex. agulhas de coníferas), morfologia de sementes e análise de doenças. Faz uso de um scanner óptico com um sistema de iluminação especial, em vez de uma câmera de vídeo. O scanner produz imagens de alta resolução livres de problemas de iluminação. Ele detecta automaticamente e analisa agulhas com muito mais precisão do que medidores de área convencional (LOBET, 2013).

Mohammed & Tarpley (2010) desenvolveram um estudo para determinar os efeitos de HNT (*High Night Temperatures* - Temperaturas Noturnas Elevadas) e posição das espiguetas na panícula em vários parâmetros determinantes do rendimento de arroz, incluindo o número de perfilhos produtivos, esterilidade, e comprimento de grãos, largura e peso. Nos experimentos I e II, o comprimento e a largura do grão do arroz integral (descascado) foram determinados com o *WinSeedle*, que utiliza a análise de cor do grão das imagens digitalizadas para calcular esses parâmetros. No experimento III, para estudar o impacto do HNT em grãos localizados em posições diferentes dentro da panícula do tronco principal, o comprimento e a largura de grãos de arroz com casca, de diferentes partes (inferior, médio e superior) da panícula, também foram determinadas

utilizando-se o *WinSeedle*. Nos EXPS I, II e III, o peso de 100 grãos (grãos descascados) foi determinado.

Com auxílio do *WinSeedle* versão Pro 2005aTM, Ambardekar et al. (2011) desenvolveram um método para quantificar os efeitos da NTATs (*Night Time Air Temperatures* - Temperaturas Noturnas do Ar) elevados sobre a formação do centro branco e pHRY (*Peak Head Rice Yield* – Pico de Rendimento do Grão de Arroz) no crescimento de culturas de arroz, correlacionando estágios reprodutivos e cultivares específicas utilizadas no experimento.

5. Resultados e Discussão

Embora os sistemas de software analisados, de uma forma geral sejam muito específicos em suas finalidades para o trabalho com sementes, são diferentes em relação à algumas características importantes. Por isso elaboramos um quadro comparativo em relação a algumas destas características (Quadro 1).

Quadro 1 – Quadro Comparativo

Características	Germinator	Lemna Launcher	SeedCount	SeedSize	SmartGrain	WinSEEDLE
Sistema Operacional	Windows	Windows	Windows	Windows Mac Linux	Windows	Windows
Licença	<i>Freeware</i>	<i>Comercial</i>	<i>Comercial</i>	<i>Freeware</i>	<i>Freeware</i>	<i>Comercial</i>
Equipamento de Aquisição	Adquirido de terceiro	Fornecido com o Software	Adquirido de terceiro	Adquirido de terceiro	Adquirido de terceiro	Fornecido com o Software
Cálculo	Contagem Superfície	Superfície Comprimento Largura Cor	Superfície	Contagem Superfície Comprimento Largura	Comprimento Largura Perímetro	Superfície Comprimento Largura Cor
Arquivo de Imagem	Todos os Formatos	Todos os Formatos	Todos os Formatos	Todos os Formatos	BMP TIFF JPEG	Todos os Formatos
Exportação de Dados	XLS	XLS	XLS CSV SQL	CSV XML	CSV	XLS CSV TXT

Tanabata et al. (2012) ressaltam que a forma e o tamanho da semente estão entre as características agrônômicas mais importantes, pois elas afetam a produção e o preço de mercado. Devido a este fato, o processamento digital de imagens aplicado a análise de sementes é de imensa importância para a agricultura.

O método adotado nacionalmente que melhor se enquadra nas abordagens de processamento digital de imagens aplicado a análise de sementes, previsto nas RAS, é o teste por raios X. O teste é realizado colocando as sementes entre uma fonte de raios X

de baixa energia e o filme ou papel fotossensível. Ao atravessar as sementes, um feixe de raios X cria uma imagem permanente sobre o filme ou o papel. Quando este é processado, forma-se uma imagem visível, de sombras claras e escuras. A imagem pode evidenciar maior ou menor grau de radiopacidade (clara) e radioluminescência (escura) em função do nível de absorção dos raios X pelas sementes. É possível utilizar agentes de contraste que saturam diferencialmente o objeto. Isto faz com que certas partes fiquem mais densas radiograficamente do que outras, acentuando determinadas características da imagem. Ainda, a imagem radiográfica também pode ser gerada por via digital, em equipamentos específicos com aportes de software adequados (BRASIL, 2009).

6. Considerações Finais

A análise de sementes é um campo extremamente importante para a agricultura, e atualmente existem sistemas de software específicos, que vem sendo utilizados como ferramenta de apoio. As técnicas de processamento digital de imagens são uma, dentre várias outras da computação, que têm sido empregadas por estes aportes de software com excelentes resultados. Neste trabalho, pudemos realizar um estudo de alguns destes sistemas de software, e uma análise comparativa entre algumas de suas características. Também foi possível encontrar trabalhos que fazem uso destes aportes de software, mostrando sua aplicação prática para a análise de sementes.

Este trabalho de forma alguma esgota todas as possibilidades, tampouco aborda todos os sistemas software que existem. Entretanto serve de referência, e promove uma visão geral sobre o que está sendo desenvolvido e sobre o grande potencial destas ferramentas, para esta área.

Referências

- Acharjee, S., et al. (2010). Transgenic chickpeas (*Cicer arietinum* L.) expressing a sequence-modified cry2Aa gene. *Plant Science*, v.178, p.333–339.
- Acton, Q. A. (2012) *Issues in Life Sciences: Botany and Plant Biology Research*. Atlanta: ScholarlyEditions.
- Ambardekar, A. A., et al. (2011). Impact of field-scale nighttime air temperatures during kernel development on rice milling quality. *Field Crops Research*, v. 122, p. 179-185.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação Geral de Apoio Laboratorial (2009). *Glossário Ilustrado de Morfologia*. 1 ed. Brasília, DF, p. 340.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação Geral de Apoio Laboratorial (2009). *Regras para Análise de Sementes*. 1 ed. Brasília, DF.
- Brooks, T. L., et. al. (2010). Plasticity of *Arabidopsis* root gravitropism throughout a multidimensional condition space quantified by automated image analysis. *Plant physiology*, v. 152, n. 1, p. 206-216.

- Delwing, A. B. (2006). O estado da arte das sementes crioulas no Rio Grande do Sul com ênfase em sementes crioulas de melão (*Cucumis melo* L.) Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Faroq, A. T., et al. (2013). P-TRAP: a panicle trait phenotyping tool. *BMC plant biology*, v. 13, p. 1-14.
- Golzarian, M. R., et al. (2011). Accurate inference of shoot biomass from high-throughput images of cereal plants. *Plant Methods*.
- Gonzalez, R. C., Woods R. E. (2008). *Digital Image Processing*. 3 ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Hayes, R. C., et al. (2012). Perennial cereal crops: An initial evaluation of wheat derivatives. *Field Crops Research*, v. 133, p. 68-89.
- Kodde, J., et al. (2012). A fast ethanol assay to detect seed deterioration. *Seed Science Research*, v. 22, p. 55-62.
- Kvilekval, K., et al (2010). Bisque: a platform for bioimage analysis and management. *Bioinformatics*, v. 26, p. 544-552.
- Lima Junior, M. J. (2010). *Manual de Procedimentos para Análise de Sementes Florestais*. UFAM - Manaus - Amazonas, Brasil.
- Lobet, G., et al. (2013). An online database for plant image analysis software tools. *Plant Methods*, v. 9, n. 38.
- Maphosa, L. (2013). Genetic control of grain quality in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under a range of environmental conditions. Dissertação (Mestrado em Agrônoma) – The University of Adelaide.
- Mohammed, A. R., Tarpley, L. (2010). Effects of high night temperature and spikelet position on yield-related parameters of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *European Journal of Agronomy*, v. 33, p. 117-123.
- Moore, C. R., et al. (2013). High-throughput computer vision introduces the time axis to a quantitative trait map of a plant growth response. *Genetics*, v. 195, n. 3, p. 1077-1086.
- Palagi, C. A. (2004). Embebição de sementes de soja para o teste de germinação. Marechal Cândido Rondon, 2004. 100f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- Peske, S., et al. (2006). *Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos*. Pelotas: UFPel.
- Silva, P. P., et al. (2014). Análise de imagens no estudo morfológico e fisiológico de sementes de abóbora. *Horticultura Brasileira*, v. 32, p.210-214.
- Tanabata, T., et al. (2012). SmartGrain: high-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. *Plant Physiology*, v. 160, n. 4, p. 1871-1880.