



**ELISÂNGELA RIBEIRO**

**CORREÇÃO DIGITAL DAS DISTORÇÕES EM  
IMAGENS PROVENIENTES DE  
DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL**

**LAVRAS - MG**

**2014**

**ELISÂNGELA RIBEIRO**

**CORREÇÃO DIGITAL DAS DISTORÇÕES EM IMAGENS  
PROVENIENTES DE DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração em Modelagem de Sistemas Biológicos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Roberto Alves Braga Júnior

Coorientador

Graham William Horgan

**LAVRAS - MG**

**2014**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Ribeiro, Elisângela.

Correção digital das distorções em imagens provenientes de digitalização tridimensional / Elisângela Ribeiro. – Lavras : UFLA, 2014.

98 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Roberto Alves Braga Júnior.

Bibliografia.

1. Técnica de Moiré. 2. Digitalização. 3. Processamento de imagens. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 621.367

**ELISÂNGELA RIBEIRO**

**CORREÇÃO DIGITAL DAS DISTORÇÕES EM IMAGENS PROVENIENTES  
DE DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração em Modelagem de Sistemas Biológicos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 01 de agosto de 2014.

Dr. Roberto Alves Braga Júnior                      UFLA

Dr. Antônio Carlos Loureiro Lino                      IAC-JUNDIAÍ

Dr. Ricardo Rodrigues Magalhães                      UFLA

Dr. Roberto Alves Braga Júnior  
Orientador

**LAVRAS - MG**  
**2014**

*A DEUS, por estar sempre ao meu lado, me protegendo, iluminando meus passos e proporcionando momentos únicos em minha vida.  
Obrigada por tornar meus sonhos realidade!*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meu caminho, dar-me força e sabedoria para lutar pelos meus objetivos.

Ao meu esposo, Márcio, pelo amor, companheirismo e por estar sempre ao meu lado, me incentivando.

Aos meus pais, Carmen e Tarcísio, pelo apoio e incentivo para vencer mais esta etapa.

Aos meus irmãos, Edvaldo e Everaldo, pela confiança e ideias transmitidas.

À minha cunhada Daniela, pela amizade, sugestões e correções.

Ao meu orientador, Roberto Braga, por acreditar em mim, pelos seus ensinamentos, paciência, compreensão e amizade, estando sempre presente durante esta jornada.

Ao meu coorientador, Graham, pelos ensinamentos e auxílio no projeto.

À grande amiga Éllen, que ganhei ao iniciar meu mestrado, agradeço as palavras amiga nos momentos difíceis, a amizade, o incentivo, as sugestões e as correções.

Aos meus amigos colaboradores Jordann e Cécilia, pelas grandes ideias, ajuda, apoio e companheirismo.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade de crescimento profissional.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos, permitindo a realização deste projeto.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, pelas sugestões e ajuda no trabalho desenvolvido.

Às grandes amigas que ganhei durante o mestrado, Isis e Evelise, pela amizade, apoio, incentivo e pelos grandes momentos de alegrias que passamos juntas.

Aos amigos do CEDIA, Sr. Antônio, D. Joselha, Paulianni, Cíntia, Ludmila, Kleber, Junio, Diego, Rennan, Bianca, Roberto, Davi, Enrique, Lucas Silva e às amigas do mestrado, Márcia, Hanna, Sol e Glória Maria, pela amizade, pela ajuda nos trabalhos durante esta trajetória, pelas palavras amigas nos momentos difíceis e pelas alegrias do convívio do dia a dia.

Enfim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste momento único em minha vida.

*Muito Obrigada!*

## RESUMO

O processamento digital de imagens consiste em manipular uma imagem buscando reduzir ruídos, amplificar informações desejadas, bem como obter informações minuciosas. Porém, a sensibilidade das técnicas torna-se um dos obstáculos para a identificação de resultados precisos. Dentre as inúmeras técnicas de digitalização, destaca-se a técnica de *Moiré* de projeção como uma das mais utilizadas para a identificação de superfícies irregulares, por ser um método não invasivo, rápido, preciso e de baixo custo. Porém, ao digitalizar um objeto, é necessária a formação de um ângulo sobre o objeto, para obter a formação da simetria do objeto em análise. Este fator causa perda de informações do objeto. A técnica de *Moiré* se caracteriza pelo movimento de duas grades relativas entre si, em referência ao observador, assim determinando um perfil e identificando a deformação do objeto. Este trabalho foi realizado com o objetivo de criar uma metodologia de correção digital das imagens digitalizadas por apenas uma câmera, utilizando de objetos de referência e técnicas de criação de funções de correção, além de correção da projeção das grades. Foi digitalizada uma esfera de isopor utilizando a técnica de *Moiré* de projeção. Como ponto de referência para a identificação da função de correção foi utilizada a fórmula de uma esfera real. Também foram desenvolvidos algoritmos com a função de criar a imagem referência da técnica de *Moiré* a partir da imagem objeto digitalizada e de corrigir as deformações da imagem objeto digitalizados. Os resultados mostram a eficácia de uso dos algoritmos desenvolvidos, principalmente o algoritmo para criar referência a partir da imagem objeto digitalizada, pois uma das principais dificuldades era capturar a imagem referência igual à do objeto fora de ambientes laboratoriais. A partir da correção de objetos digitalizados, a função identificada no algoritmo mostrou-se capaz de corrigir objeto que tenha raio em torno de 25 cm e que siga a simetria de uma esfera. No caso deste trabalho, a função foi aplicada a 29 frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) digitalizados com a técnica de *Moiré*, chegando-se à conclusão de que a função conseguiu ajustar todas as imagens. No presente trabalho mostra-se que vários algoritmos foram desenvolvidos para melhorar a capacidade de informação da técnica de *Moiré* utilizando apenas uma câmera, tornando-a mais robusta e mais fácil de ser aplicada, sem a perda de informação do objeto em estudo.

Palavras-chave: Técnica de *Moiré*, Processamento, Digitalização.

## ABSTRACT

Digital image processing involves manipulation of an image trying to reduce noise and amplify desired information, as well as obtain detailed information. However, the sensitivity of techniques becomes one of obstacles in identification of precise results. Among numerous scanning techniques, *Moiré* projection stands out as one of those most used for identifying the symmetry of irregular surfaces since it is a non-invasive, rapid, accurate and cost effective method. However, when scanning an object, it is necessary to establish an angle over the object to form the symmetry of the object under analysis; this factor causes loss of object information. The *Moiré* technique is characterized by the movement of two grids relative to each other in reference to the observer, thus determining a profile and identifying deformation of the object. The aim of this study was to create a methodology for digital correction of images scanned by only one camera using objects of reference and techniques for creating image correction functions, as well as correction of projection bars. Polystyrene spheres were digitized using the *Moiré* projection technique. The formula of a true sphere was used as a point of reference for identifying the correction function. Algorithms were also developed for the purpose of creating a reference image of the *Moiré* technique from the scanned object image and correcting the deformations of the scanned object image. The results show the effectiveness of the algorithms developed for correction of the bars, especially the algorithm of creating a reference image from the scanned object, because one of the main difficulties was to capture the reference image equal to the reference object outside of laboratory environments. From correction of digitized objects, the function identified in the algorithm proved to be able to correct any object with a radius of around 25 cm and which has the symmetry of a sphere. In this study, the function was applied to 29 Macauba (*Acrocomia aculeata*) fruits scanned with the *Moiré* technique, with the conclusion that the function was able to adjust all images. The present study shows that several algorithms have been developed to improve the information capacity of the *Moiré* technique using only one camera, making it more robust and easier to be applied, without loss of information from the object under study.

Keywords: *Moiré* technique, Processing, Scan.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Elementos de um sistema de processamento de imagens .....	18
Figura 2 Técnicas perfilométricas .....	19
Figura 3 Classificação das técnicas óticas para aquisição da superfície de contorno .....	20
Figura 4 Processo geométrico de formação das franjas.....	21
Figura 5 <i>Phase-shift</i> deslocado em $\frac{1}{4}$ .....	24
Figura 6 a) Fase desempacotamento de um perfil. b) Mapa de fases empacotadas no mesmo perfil .....	25
Figura 7 Objeto de análise .....	26
Figura 8 Arranjo experimental para a utilização da técnica de <i>Moiré</i> .....	28
Figura 9 Arranjo experimental da aquisição da imagem objeto. ....	29
Figura 10 Fluxograma para construir a imagem referência a partir da imagem objeto.....	31
Figura 11 Imagem fotografada do objeto (semiesfera) .....	32
Figura 12 Imagem objeto após ser pré-processada usando “threshold” .....	33
Figura 13 Comparação com a fórmula 5.....	35
Figura 14 Fluxograma da correção digital das grades.....	36
Figura 15 Semiesfera com franjas inclinadas.....	37
Figura 16 Imagem objeto pré-processada com filtro e threshold .....	38
Figura 17 Imagem da matriz formada para a comparação .....	38
Figura 18 Imagem referência para comparação das imagens .....	39
Figura 19 Distância entre as grades e processo de comparação .....	40
Figura 20 Imagem objeto digitalizada.....	42
Figura 21 Fluxograma da correção de apenas uma linha da esfera digitalizada.....	43
Figura 22 Exemplo do perfil de uma esfera real de 50 mm de diâmetro.....	44
Figura 23 Linha no objeto recuperado da imagem objeto para obtenção de seu perfil (Figura 24).....	45
Figura 24 Perfil da esfera objeto digitalizada pela Técnica de <i>Moiré</i> .....	46
Figura 25 Simetria das duas semiesferas.....	46
Figura 26 Normalização dos dados.....	47
Figura 27 Fluxograma de correção da esfera total .....	48
Figura 28 Região de pontos máximos da imagem. ....	49
Figura 29 Correção de uma linha da imagem digitalizada. ....	50
Figura 30 Desenvolvimento do raciocínio na formação das linhas.....	51
Figura 31 Aquisição pelo método semente de painço.....	54
Figura 32 Aquisição pelo método de coluna d’água.....	55
Figura 33 Aquisição pelo método da técnica de <i>Moiré</i> .....	56
Figura 34 Configuração experimental para utilização da técnica de <i>Moiré</i> .....	58

<b>Figura 35</b>	<b>Resultado da rotina para geração de retículo de referência .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 36</b>	<b>Retículo de referência capturado pelo clique da câmera .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 37</b>	<b>Retículo de referência a partir da rotina desenvolvida .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 38</b>	<b>Estrutura desenvolvida para posicionar os frutos para digitalização .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 39</b>	<b>Imagens antes das linhas inclinadas.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 40</b>	<b>Resultado do algoritmo .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 41</b>	<b>Objeto recuperado obtido da correção digital das grades .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 42</b>	<b>(a) Imagens antes do processamento (b) Objeto recuperado resultante do processamento (c) Resultado das curvas de níveis do objeto digitalizado.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 43</b>	<b>Função Moiré x Referência .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 44</b>	<b>Correção dos ângulos resultante da técnica de Moiré.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 45</b>	<b>(a) Imagem antes de aplicar correção (b) Imagem após correção.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 46</b>	<b>(a) Fruto antes de corrigir (b) Resultado da correção do fruto de macaúba com dimensões 433mm x 440mm.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 47</b>	<b>(a) Fruto antes de corrigir (b) Resultado da correção do fruto de macaúba com dimensões 484mm x 465mm.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 48</b>	<b>(a) Correção da esfera digitalizada (b) Objeto 3D.....</b>	<b>70</b>

**LISTA DE GRÁFICOS**

<b>Gráfico 1</b>	<b>Correlação do método Moiré x Peso .....</b>	<b>69</b>
<b>Gráfico 2</b>	<b>Correlação do MCA x Peso .....</b>	<b>69</b>
<b>Gráfico 3</b>	<b>Correlação do Método de Semente de Painço x Peso.....</b>	<b>70</b>
<b>Gráfico 4</b>	<b>Correlação do Método de MoiréAjuste x Peso.....</b>	<b>73</b>

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 Resultado dos volumes obtidos pelos três métodos (Moiré, MCA e Semente de Painço).....</b>	<b>68</b>
<b>Tabela 2 Volumes dos frutos antes e após a correção utilizando funções....</b>	<b>72</b>

## SUMÁRIO

RESUMO .....	6
LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTA DE GRÁFICOS .....	10
SUMÁRIO.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS .....	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1 Imagens digitais.....	15
3.1.1 Processamento digital de imagens.....	15
3.1.2 Processamento .....	17
3.2 Técnicas perfilométricas .....	18
3.2.2 Técnica de <i>Moiré</i> .....	21
3.2.3 Métodos de <i>Moiré</i> .....	22
3.2.4 Melhoramento da sensibilidade das técnicas de <i>Moiré</i> .....	23
3.2.5 Calibração das imagens digitais.....	25
3.2.6 Aplicações da Técnica de <i>Moiré</i> .....	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS .....	28
4.1 Configuração experimental.....	28
4.2 Desenvolvimento de uma rotina capaz de construir uma imagem de referência a partir da imagem objeto.....	30
4.2.1 Correção digital das grades.....	35
4.3 Processamento da técnica de <i>Moiré</i> utilizando a referência criada .....	41
4.4 Função de correção do ângulo decorrente da utilização de uma câmera.....	42
4.5 Validação em caso real .....	53
4.5.1 Volumes dos frutos de macaúba.....	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	58
5.1 Configuração experimental.....	58
5.2 Desenvolvimento de uma rotina capaz de construir uma imagem referência a partir da imagem objeto digitalizada.....	59
5.2.1 Correção digital das grades.....	61
5.3 Processamento da técnica de <i>Moiré</i> utilizando a referência criada .....	62
5.4 Função de correção do ângulo decorrente da utilização de uma câmera.....	63
5.5 Aplicação da função de correção em caso piloto .....	65
6 CONCLUSÃO .....	74
REFERÊNCIAS.....	76
ANEXOS .....	79

## 1 INTRODUÇÃO

A digitalização de imagens tem evoluído muito, nos últimos anos, principalmente pelo desenvolvimento da área de eletrônica digital, que oferece, a todo instante, novos e mais potentes computadores e câmeras digitais.

A industrialização cada vez mais intensa impulsionou e continua impulsionando a constante evolução de ferramentas, como é o caso da digitalização de objetos e sua consequente reconstrução para impressão 3D.

As aplicações das imagens digitais e a digitalização de objetos interagem e apresentam aplicações que vão desde a análise de imagens vindas do espaço até o uso de imagens para a construção de próteses humanas bem adaptadas. Uma área que cresceu junto com a das imagens digitais foi a do processamento digital de imagens, que apresenta enorme variação de técnicas.

Na digitalização de objetos, beneficiada por toda essa evolução foi a técnica de *Moiré*, que acaba sendo a base para muitos equipamentos sofisticados, como é o caso dos “scanners lasers”, e outros equipamentos de visão 3D. O grande desafio da ciência e tecnologia passa pela digitalização com o uso de equipamentos de baixo custo, além de plataformas mais abertas para o seu desenvolvimento, que podem ser utilizados para a adaptação a casos especiais, como a aplicação em campo e a necessidade de uso de digitalização de objetos usando apenas uma câmera.

Dessa forma, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de criar uma metodologia de correção digital das imagens digitalizadas por meio de apenas uma câmera, utilizando objetos de referência e técnicas de criação de funções de correção, além de meios de correção da projeção das grades.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

O objetivo, neste trabalho, foi criar uma metodologia de correção digital das imagens digitalizadas por meio de apenas uma câmera, utilizando objetos de referência e técnicas de criação de funções de correção, além de meios de correção da projeção das grades.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) Propor uma configuração experimental para avaliar a posição e para a melhor visualização do objeto a ser estudado, pela técnica de *Moiré* de projeção.
- b) Desenvolver uma rotina capaz de construir uma imagem referência a partir da imagem digitalizada e uma correção digital das grades.
- c) Realizar as aquisições das imagens de objetos e digitalizá-los pela técnica de *Moiré*, de acordo com a referência criada.
- d) Desenvolver uma rotina que identifique a função de correção do ângulo decorrente da utilização de uma câmera.
- e) Aplicar a função identificada em objetos assimétricos.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Imagens digitais**

A imagem digital surgiu como um subproduto da guerra fria e da exploração espacial, quando os cientistas tinham o desafio de criar um meio para enviar as imagens obtidas em locais distantes para o centro de pesquisas na Terra. Assim, identificaram pequenas partes das imagens e lhes deram o nome de “pixel”, sendo, posteriormente, transformadas em números e, depois, em impulsos elétricos, os quais eram transmitidos através do espaço. As referidas imagens eram digitalizadas na resolução de 800 x 800 pixels, totalizando 640.000 elementos individuais de imagem para compor cada foto captada (SILVA;ALVES;COSTA, 2007).

Atualmente, com o avanço da tecnologia e com o advento da era dos computadores, as imagens são aperfeiçoadas a cada dia, proporcionando mais ênfase às imagens digitais que, segundo Scuri (2002), podem ser definidas como uma matriz de pixels, em que cada pixel é um número que representa o valor da cor naquela posição.

Para Gonzalez e Woods (2009), as imagens digitais podem ser definidas como sendo a representação visual de um objeto. Do ponto de vista matemático, uma imagem pode ser definida como uma função bidimensional  $f(x, y)$ , em que  $x$  e  $y$  são coordenadas planas e a amplitude de  $f$  em qualquer par de coordenadas  $(x, y)$  é chamada de intensidade ou nível de cinza da imagem nesse ponto.

##### **3.1.1 Processamento digital de imagens**

Processamento de imagens pode ser caracterizado por algoritmos especializados que disponibilizam inúmeras aplicações de técnicas de

processamento para o usuário. Estes algoritmos fazem o tratamento matematicamente da imagem, como um dado diretamente relacionado ao processo físico que o criou. Com isso, a representação e o processamento da imagem não são totalmente a representação do mundo real. Para isso é preciso a intervenção do usuário para a interpretação dos dados contidos na imagem, afirmam Meneses e Almeida (2012).

A área de processamento vem sendo objeto de crescente interesse por permitir viabilizar grande número de aplicações em duas categorias bem distintas: o aprimoramento de informações para interpretação humana e a análise automática, por computador, de informações extraídas de uma cena, afirmam Marques Filho e Vieira Neto (1999).

Silva (2001) destaca, em seus estudos, que a função principal do processamento digital de imagens é a de fornecer ferramentas úteis para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens para futuras interpretações. O resultado deste processo é a formação de outras imagens, estas já contendo todas as informações necessárias, extraídas e trabalhadas a partir das imagens originais.

Para Gomes e Velho (2002), um sistema de processamento digital de imagens permite como entrada uma imagem que, após o processamento, produz outra imagem na saída, adequada às necessidades do problema abordado.

Dos estudos de Silva (2001) podem-se destacar, como objetivos de processamento digital de imagens, a modificação da imagem para facilitar a sua visualização e a preparação para ser analisada pelo computador em um procedimento de análise digital de imagens.

### 3.1.2 Processamento

As primeiras aplicações das imagens ocorreram na indústria dos jornais, quando elas eram enviadas por cabo submarino entre Londres e Nova York. Um equipamento de impressão especializado codificava as imagens para a transmissão a cabo e depois as reconstruía no recebimento (GONZALEZ;WOODS, 2009).

Segundo Spring (1996), por processamento de imagens entende-se a manipulação de uma imagem por computador, de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens com o objetivo de melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos.

Os elementos de um sistema de processamento de imagens de uso genérico, que permite representar desde sistemas de baixo custo até sofisticadas estações de trabalho utilizadas em aplicações que envolvem intenso uso de imagens, estão ilustrados na Figura 1. Eles abrangem as principais operações que se podem efetuar sobre uma imagem: aquisição, armazenamento, processamento e exibição. Além disso, uma imagem pode ser transmitida a distância, utilizando meios de comunicação disponíveis.

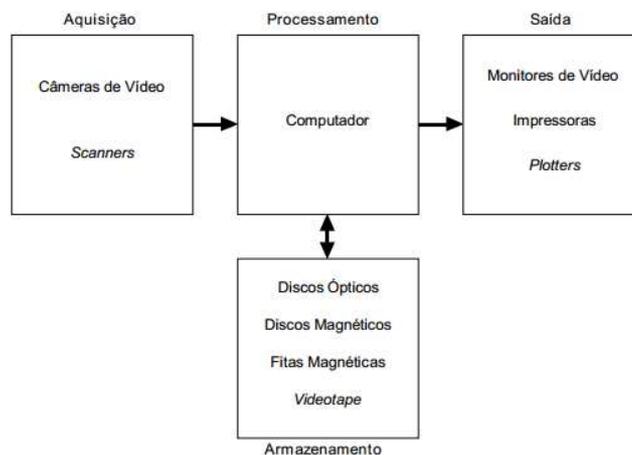


Figura 1 Elementos de um sistema de processamento de imagens  
 Fonte: Marques Filho e Vieira Neto (1999)

A fase de aquisição tem a função de converter uma imagem em uma representação numérica adequada para o processamento digital. O armazenamento de imagens digitais é responsável por guardar todas as informações necessárias do processo, seja em forma de armazenamento de curta duração, enquanto elas são utilizadas nas várias etapas do processamento, ou por armazenamento de massa, para operações de recuperação relativamente rápidas ou para recuperação futura, quando isto se fizer necessário.

A fase do processamento de imagens digitais é responsável por envolver procedimentos expressos sob forma algorítmica, com a finalidade de atender aos objetivos finais de cada procedimento (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

### 3.2 Técnicas perfilométricas

Técnicas ópticas perfilométricas são empregadas na determinação da topografia de componentes mecânicos, podendo também ser associadas à

interferometria na solução de problemas envolvendo solicitações estáticas ou dinâmicas (GOMES et al., 2009).

A perfilometria é um conjunto de técnicas utilizadas para a medição da superfície de contorno, tendo como vantagem a rapidez e o fato de não ter contato físico com os objetivos em estudo, sendo, portanto, indicada para o trabalho com materiais biológicos sensíveis, tais como as frutas. Dentre as várias técnicas utilizadas em estudos de superfícies de contorno, encontram-se as técnicas ópticas, que têm sido cada vez mais estudadas. Curless (2001) apresenta um detalhamento das técnicas perfilométricas com classificação ampla das técnicas e particulariza as óticas, como ilustrado na Figura 2.

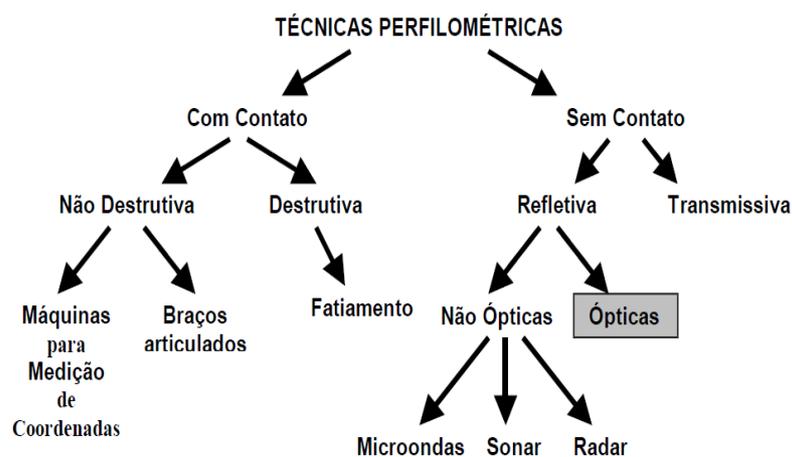


Figura 2 Técnicas perfilométricas  
Fonte: Lino (2002)

Dando detalhamento aos estudos de Curless (2013), observa-se um fluxograma das técnicas ópticas, dando ênfase aos estudos perfilométricos, como ilustrado na Figura 3.

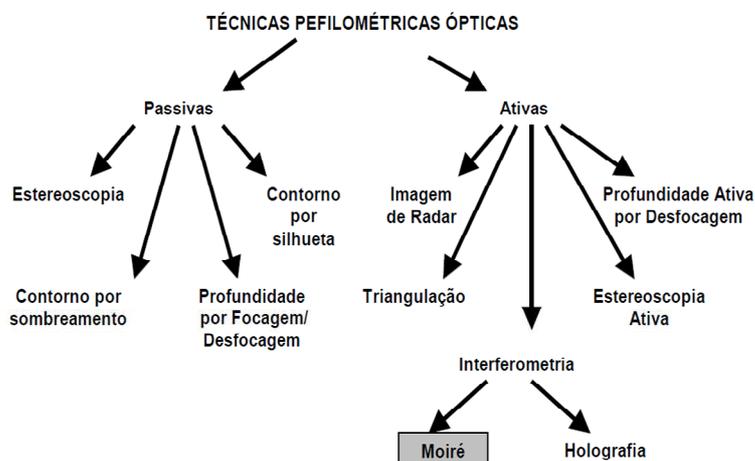


Figura 3 Classificação das técnicas ópticas para aquisição da superfície de contorno  
 Fonte: Lino (2002)

Hu (2001) afirma que as técnicas de *Moiré* (TM), de sombra e projeção, são as técnicas perfilométricas mais comumente utilizadas, devido, principalmente, à sua simplicidade e rapidez de medição, tendo sido alvo de frequentes estudos e vários tipos de aplicações.

Para Lino (2002), a perfilometria é um conjunto de técnicas utilizadas nas medições de superfície de contorno, destacando-se na engenharia civil como uma poderosa ferramenta de inspeção de grandes estruturas, como pontes e túneis. Já na indústria, se destaca como uma ferramenta no controle de qualidade de componentes mecânicos.

Windschbaur (1982) afirma que a técnica perfilométrica é uma grande ferramenta útil na medicina e na biomédica, áreas em que é utilizada para diagnosticar modelagens de movimento e na previsão de resultados cirúrgicos, além de outras aplicações.

### 3.2.2 Técnica de *Moiré*

A palavra *Moiré* é de origem francesa e, segundo Sciammarella (1982), pronuncia-se “moarrê”, significa “molhado” e denomina um tecido de seda importado da antiga China. Quando há incidência de luz não coerente, luz comum e um relativo movimento entre duas camadas deste tecido, ocorre a formação de padrões, franjas de interferência, semelhantes a ondas, denominadas franjas de *Moiré*.

As duas camadas do tecido de seda agem como dois retículos, sendo que um serve de base de referência (retículo de referência – Rr) e o outro como modelo (retículo modelo – Rm). Dessa maneira, a captura e o processamento destes dois retículos possibilitam a obtenção das franjas e estas, segundo Assundi e Yung (1991), a medição de deformações no plano e fora do plano, contornos topográficos, inclinações, curvaturas e formas em geral de objetos.

Pode-se exemplificar a construção das franjas pela explicação geométrica do processo, de acordo com a Figura 4.

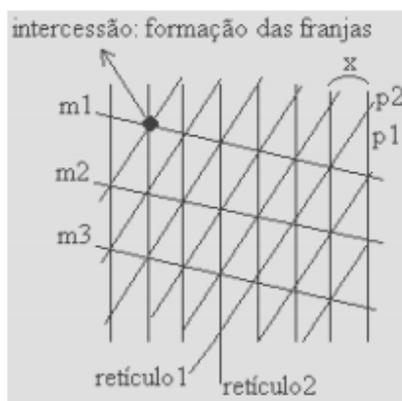


Figura 4 Processo geométrico de formação das franjas  
Fonte: Cloud (1998)

Lino (2002) explica que a intercessão de dois retículos possuem linhas equidistantes e espaçadas, sendo que um deles possui período “p1” (retículo 2) que é sobreposto por outro que possui período “p2” (retículo 1) diferente de “p2”, formando desta forma um ângulo  $\alpha$  entre as linhas. Por esta razão, observa-se o aparecimento de um terceiro retículo, m, que constitui as franjas de *Moiré*, formadas pela intercessão das linhas dos retículos.

As técnicas de *Moiré* são técnicas didáticas, de fácil experimentação, que não estão sujeitas às condições extremas, como temperatura e pressão, apresentando boa relação com o material estudado, incluindo materiais sensíveis (GOMES, 2005; LINO, 2002).

### 3.2.3 Métodos de *Moiré*

Segundo Sciammarella (1982), os métodos de *Moiré* são classificados em técnica de:

- *Moiré* intrínseco, que provê o deslocamento dos pontos de uma superfície observada em relação à sua posição inicial;
- *Moiré* de projeção, que provê o deslocamento dos pontos de uma superfície observada em relação a uma superfície conhecida como referência;
- *Moiré* de reflexão, que é responsável pela inclinação dos pontos de uma determinada superfície onde está sendo observada em relação a um estado de referência.

Todos estes métodos têm em comum as mesmas informações e podem ser interpretados da mesma maneira. Apenas diferenciam-se entre eles os métodos óticos utilizados e a forma como o retículo do modelo é gerado para a formação das franjas.

As técnicas mais utilizadas são o *Moiré* de sombra e de projeção em

razão da sua simplicidade e rapidez na medição, sendo muito estudadas, e suas aplicações estendidas para diversas áreas do conhecimento (HU, 2013).

Quando a iluminação de uma grade interage com a sua própria sombra projetada no objeto, visualizam-se as franjas instantaneamente pela técnica de *Moiré* de sombra. Quando a grade é projetada sobre o objeto e, posteriormente, sobre o plano de referência, podem-se visualizar as franjas, por meio da diferença das imagens, pela técnica de *Moiré* de projeção (LINO, 2002).

As técnicas de *Moiré* podem ser classificadas pelo período, o número de pixels entre duas linhas negras, a grade utilizada e o tipo de deformação a ser estudada (ASSUNDI, 2013).

Na década de 1960, a sensibilidade da técnica de *Moiré* estava limitada por grades que não passavam de algumas linhas por mm (40 linhas por mm), o que fez com que medições de deformações e deslocamento linear permanecessem um assunto sem muita importância na prática (WALKER, 1993).

Shitakubo, Fabbro e Lino (2003) em seus estudos, destaca que técnicas como mudança de fase, *phase-shift* e transformadas de Fourier podem ser aplicadas para um melhor processamento das imagens. Gavisk (1983) acrescenta a multiplicação e a interpolação de franjas e técnicas de grades desencontradas para aumentar a sensibilidade.

### **3.2.4 Melhoria da sensibilidade das técnicas de *Moiré***

A sensibilidade das técnicas de *Moiré* pode ser aumentada por meio de vários métodos, como a interpolação de franjas, a multiplicação de franjas, as técnicas de grades desencontradas e a mudança de fase. Para Gasvik (1983), o método de interpolação de franjas consiste em determinar as franjas de ordem

fracionária, como, por exemplo,  $\frac{1}{2}$  franja,  $\frac{1}{4}$  de franja. Esta franja de ordem fracionária pode ser medida pela intensidade da luz em cada ponto da imagem.

O método de mudança de fase (*phase-shift*) Dircks, Decraemer e Dielis (1988) incide na utilização de quatro imagens das franjas deslocadas de frações de seu período ou passo em relação à primeira imagem, em que o período ou passo se refere à distância entre as linhas escuras. O *phase-shift* de  $\frac{1}{4}$  franjas produzidas por grades deslocadas de  $\frac{1}{4}$  está ilustrado na Figura 5.

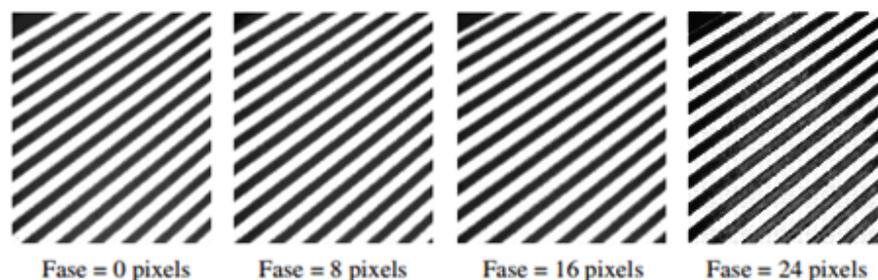


Figura 5 *Phase-shift* deslocado em  $\frac{1}{4}$   
Fonte: Coelho (2013)

Mazzeti Filho (2004) afirma que os deslocamentos de *phase-shift* podem ser realizados aproximando-se o objeto do conjunto óptico em frações de franja, em se tratando de *Moiré* de sombra, ou projetando-se sobre os planos retículos defasados de frações de seu passo, quando se utilizar *Moiré* de projeção. Asundi (1994) afirma que as franjas de *Moiré* podem ser adquiridas utilizando-se grades geradas digitalmente.

Quando os cálculos da fase foram realizados por um computador, segundo Lino (2002), os valores variaram de  $-\pi$  a  $\pi$ , gerando uma imagem com mapas de fases chamadas de “fases empacotadas”, caracterizadas por descontinuidades de sua superfície. Estas descontinuidades podem ser removidas por um processo chamado modulação de fase (*phase unwrapping*). Na Figura 6 ilustra-se este procedimento.

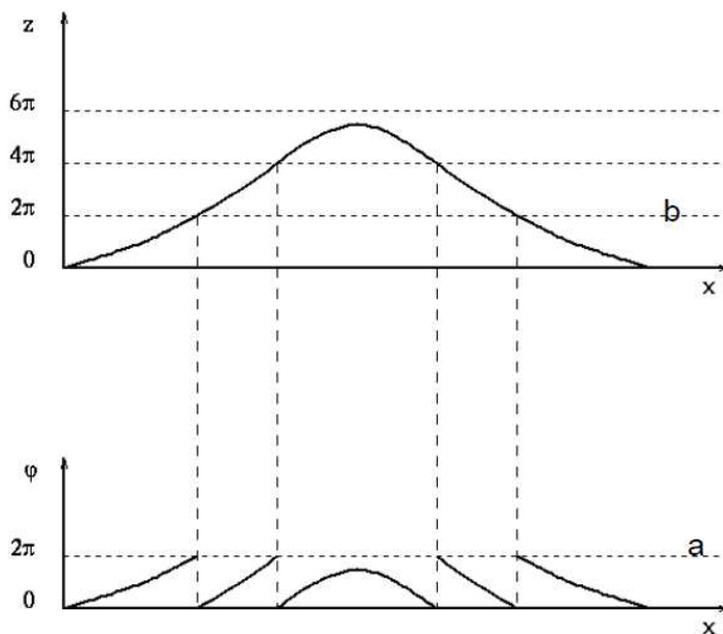


Figura 6 a) Fase desempacotamento de um perfil; b) mapa de fases empacotadas no mesmo perfil

Fonte: Lino (2002)

### 3.2.5 Calibração das imagens digitais

Gomes (2005), em seus estudos, propôs um processo de calibração das imagens obtidas por *Moiré*, utilizando um objeto de dimensões conhecidas para encontrar um valor, fator de correção, e, assim, corrigir a distorção da imagem 3D no eixo fora do plano ( $Z$ ). Com a metodologia empregada observou-se que é possível realizar os mapeamentos com resolução máxima na ordem de centésimos de milímetros, concluindo que ela pode ser utilizada em aplicações com níveis de precisão inferiores a esta ordem, obtendo-se resultados topográficos com níveis de precisão 93,1%. Na Figura 7 é possível visualizar o objeto com dimensões conhecidas utilizadas nos estudos deste autor.

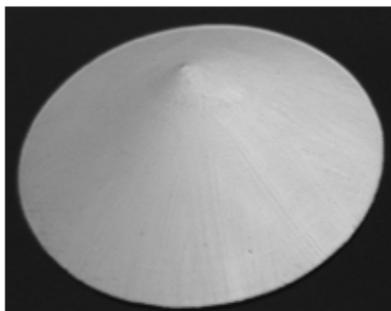


Figura 7 Objeto de análise  
Fonte: Gomes (2005)

### 3.2.6 Aplicações da técnica de *Moiré*

A técnica de *Moiré* pode determinar a perfilometria dos objetos (HERTZ et al., 2005) e mostra-se versátil, ágil e de fácil coleta e manipulação de dados. A técnica destaca-se por ser um método não invasivo, cuja medição é simples e rápida, sendo uma alternativa para estudos perfilométricos do solo, como o tráfego de máquinas agrícolas, que pode provocar excesso de carga no solo e possíveis danos ao desenvolvimento de culturas (LINO; DAL FABBRO, 2004).

No contexto das ciências agrárias há trabalhos que estimam a área superficial de frangos de corte (SILVA; ALVES; COSTA, 2007) e a topografia de ovos, estimando a massa da gema, da clara, da casca e de todo o ovo (SILVA, 2011).

Podem ser encontradas investigações perfilométricas em protótipos mecânicos, buscando baixos custos e flexibilidade (GOMES et al., 2009), além da análise postural de seres humanos (HERTZ et al., 2005) e de deformações em madeira (COSTA, 2006). Também é aplicada no controle de qualidade de frutos, inspeção e classificação de topografias de objetos em geral e deformação em peças ativas (BRAGA et al., 2009).

Segundo Coelho (2013), uma das aplicações da técnica de *Moiré* é a análise perfilométrica da superfície do solo, após o contato rodado-solo, sob diferentes calibrações do pneu, visando fazer uma análise do comportamento da superfície do solo ao ser trafegado por máquinas e implementos agrícolas, de forma a obter inferências sobre os danos causados à sua estrutura.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o atendimento aos objetivos propostos, o desenvolvimento deste projeto foi dividido em cinco etapas, tendo todas as etapas de aquisição de imagens sido desenvolvidas no Laboratório de Óptica nº 2, no Centro de Instrumentação Aplicada à Agropecuária (CEDIA), no Departamento de Engenharia (DEG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

### 4.1 Configuração experimental

Na primeira etapa do projeto foi realizada uma configuração experimental para avaliar a melhor posição e visualização do objeto por apenas uma câmera e ser estudada pela técnica de *Moiré* de projeção (Figura 8).

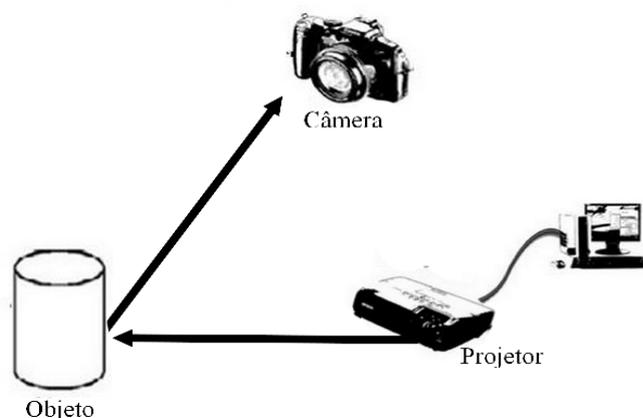


Figura 8 Arranjo experimental para a utilização da técnica de *Moiré*.

Nesta configuração utilizou-se uma câmera Canon EOS Digital Rebel XTI, com resolução de 10 MP, um projetor multimídia da marca EPSON S8, com intensidade de 2.500 lumens e uma esfera de isopor de 50 mm. Todos foram

dispostos na forma de um triângulo retângulo, tendo o projetor de multimídia sido fixado formando um ângulo de  $90^\circ$  com o plano (objeto) e a câmera digital foi posicionada de maneira que o ângulo fosse menor que  $90^\circ$ , em relação ao objeto. Como corpo-de-prova foi utilizada uma esfera de isopor, com diâmetro de 50 mm e de topografia simples para a melhor identificação, visualização e calibração do processo. Foi utilizado o software Gerador de Grids para a formação das franjas com os seguintes parâmetros: passo, 7 mm; espessura, 3 mm e a fase 0.

A grade foi, então, projetada sobre o objeto, dando origem ao retículo (Rm). Posteriormente, o objeto foi retirado do plano e fixado para que a grade fosse projetada sobre esse plano (anteparo), gerando o retículo de referência (Rr).

Após as configurações do arranjo experimental, realizou-se a aquisição da imagem do objeto (esfera de isopor) para ser trabalhada no desenvolvimento dos algoritmos de correções dos objetivos propostos neste projeto, como ilustrado na Figura 9.

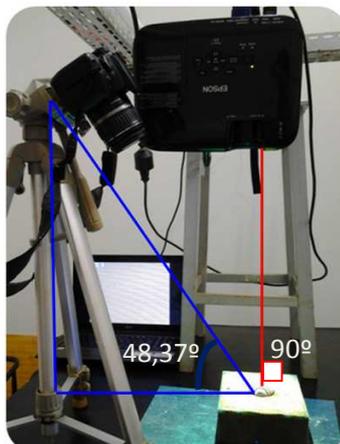


Figura 9 Arranjo experimental da aquisição da imagem objeto.

#### **4.2 Desenvolvimento de uma rotina capaz de construir uma imagem de referência a partir da imagem objeto.**

O desenvolvimento da rotina foi classificado conforme o fluxograma na Figura 10.

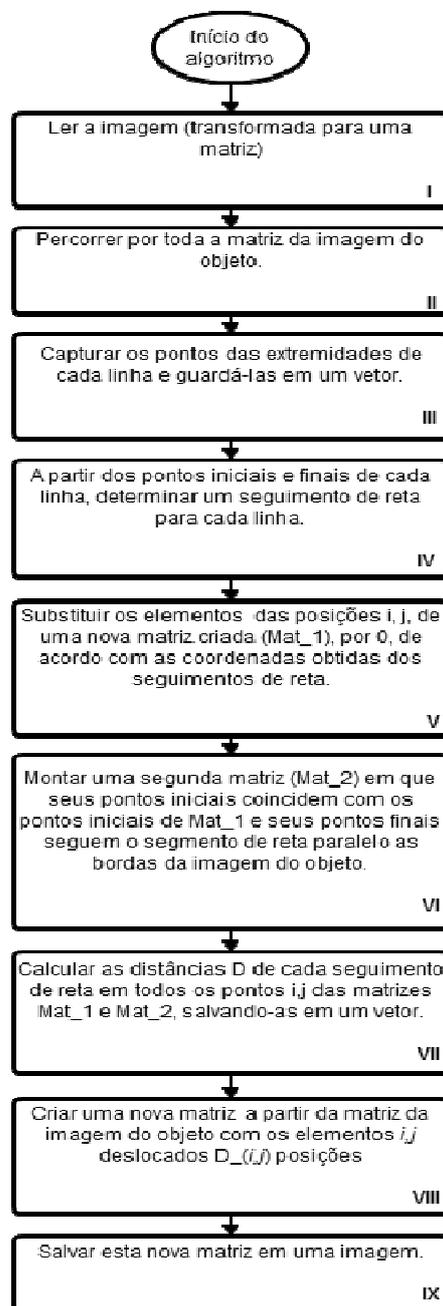


Figura 10 Fluxograma para construir a imagem referência a partir da imagem objeto

O processamento das imagens inicia-se com uma correção das imperfeições, bem como a adequação delas às necessidades do algoritmo utilizado, podendo-se modificá-las quanto às suas dimensões aos níveis de contraste, à nitidez e ao brilho, bem como quanto ao formato de cores (RGB, 8-bit, 32-bit, 16-bit e 8-bit) e outros.

Observa-se, na Figura 11, a imagem de uma semiesfera com as franjas de *Moiré*, obtida a partir da configuração experimental.

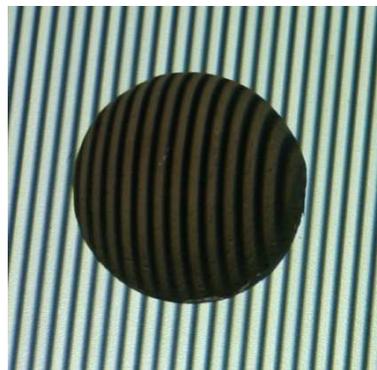


Figura 11 Imagem fotografada do objeto (semiesfera)

O primeiro passo do procedimento adotado foi a troca no formato de cores da imagem. A aquisição da imagem original foi em 8 bits (RGB), tendo a mesma sido convertida para escala binária (processo de “threshold”), ou seja, processo de limiarização somente para cor preta ou branca. O resultado do processo está ilustrado na Figura 12.

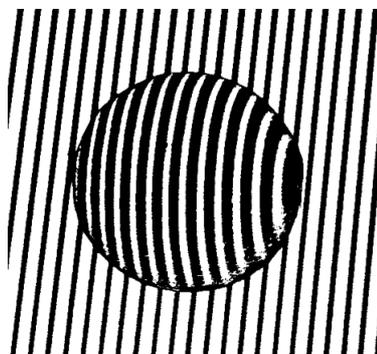


Figura 12 Imagem objeto após ser pré-processada usando “threshold”

Esse procedimento foi realizado para facilitar a implementação dos algoritmos de processamento da imagem. O que, anteriormente, era simbolizado no computador por uma hipermatriz de três dimensões, passou a ser visto como uma matriz comum e, posteriormente, apresentou somente duas cores, dois tipos de elementos a serem trabalhados (passo I do fluxograma da Figura 10). O fato da alteração do esquema de cores da imagem não altera o resultado da técnica de *Moiré*, uma vez que, nesta técnica, é avaliada somente a forma, ou seja, a curvatura das franjas na imagem.

Com a imagem ajustada, iniciou-se o processamento do algoritmo, tendo como objetivo a geração de um retículo indeformado da imagem. Como o algoritmo foi trabalhado na imagem do objeto, a mesma foi interpretada, pelo computador, como sendo uma matriz, como ilustrado no fluxograma da Figura 10 (passo II). Logo, foram utilizados os métodos matemáticos ilustrados na Equação 4, para a manipulação da matriz que representa a imagem do objeto com as franjas, transformando-se na imagem de referência ou retículo indeformado (passo III da Figura 10).

Seja a imagem de um objeto qualquer com as grades definidas pela matriz

$$a = \begin{pmatrix} a_{1,1} & \cdots & a_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,1} & \cdots & a_{n,n} \end{pmatrix}_{m \times n} \quad (4)$$

em que cada elemento da matriz representa um pixel da imagem, definido por um número que corresponde a uma tonalidade de cor  $m$ . Esta representa a quantidade de linhas da matriz que corresponde à dimensão vertical da imagem (em pixels) (passo IV do fluxograma Figura 10). Analogamente,  $n$  representa o número de colunas da matriz e corresponde à dimensão horizontal da imagem (em pixels). Logo, a matriz  $A$  representa o retículo do modelo ( $R_m$ ) a ser processado no algoritmo (passo V do fluxograma).

No passo VI do fluxograma da Figura 10, a referência foi formada por retas paralelas dispostas pela imagem, com angulação igual às grades da imagem do objeto e que, para formá-la, foi necessário retirar o objeto da imagem juntamente com a parte curva de suas grades, transformando-as em retas.

No passo VII, Figura 10, seja a matriz “A”, agora como um sistema de eixos coordenados, em que “ $m$ ” e “ $n$ ” são os eixos. Para formar a referência a partir da imagem do objeto, foi necessário identificar o ponto inicial e final de cada linha da grade preta, ou seja, a linha  $m_i$  e a coluna  $n_j$ , onde se encontrava o começo de cada linha, pixels de cor preta da grade, e a linha  $m_{if}$  e a coluna  $n_{if}$ , onde se encontrava o último pixel respectivo ao pixel inicial da linha em questão, na qual a matriz percorre pelo algoritmo da Equação 5.

$$\begin{matrix} \rightarrow \\ \downarrow \end{matrix} \begin{pmatrix} a_{1,1} & \cdots & a_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,1} & \cdots & a_{n,n} \end{pmatrix}_{m \times n} \quad (5)$$

Na Figura 13 observa-se a imagem do objeto em questão.

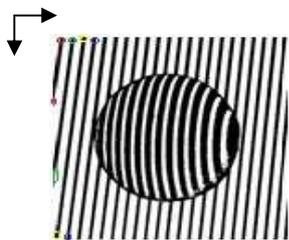


Figura 13 Comparação com a fórmula 5

A partir da Figura 13 foi possível capturar todos os elementos da cor da grade e, com isso, obter as coordenadas dos pontos iniciais e finais de cada linha da grade (passo VIII da Figura 10).

Considerando os pontos coletados e a equação de reta formada por cada par de pontos inicial e final de linhas de cada grade, demonstrado pela Equação 6, o valor de  $y$  é

$$y = m^*(x - x_0) + y_0 \quad (6)$$

em que  $m^*$  representa o coeficiente angular na Equação 7. O valor de  $m^*$  é dado por

$$m^* = \frac{x_f - y_0}{x_f - x_i} \quad (7)$$

em que  $x_0$  e  $y_0$  são as coordenadas dos pontos iniciais, a partir da equação de reta, foi possível formar o retículo de referência (Rr) em uma nova matriz "B", como descrito no passo IX do fluxograma ilustrado na Figura 10.

#### 4.2.1 Correção digital das grades

Desenvolvido o algoritmo de criação de referência, iniciou-se a correção digital das grades, conforme ilustra o fluxograma da Figura 14.

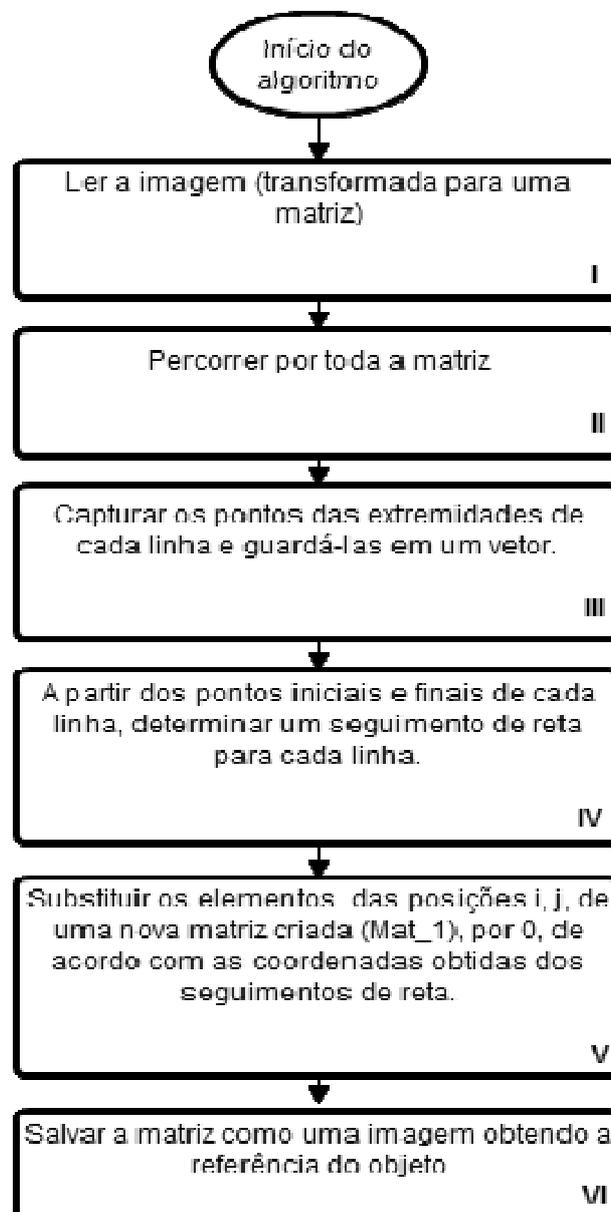


Figura 14 Fluxograma da correção digital das grades.

Uma imagem normal coletada pela técnica de *Moiré* apresenta as linhas não paralelas nas bordas laterais da imagem e, até mesmo, não paralelas umas às outras, devido ao fato de ser necessário que o observador forme certo ângulo com o plano onde está o objeto.

Na maioria dos casos, a não linearidade das linhas causa deformações e imperfeições na obtenção do gráfico do objeto fotografado. Portanto, a finalidade do algoritmo foi corrigir essas imperfeições causadas, fazendo com que as linhas da grade se tornassem paralelas entre si e com as bordas laterais da imagem. Na Figura 15 ilustra-se uma semiesfera com suas franjas não paralelas às bordas da imagem.



Figura 15 Semiesfera com franjas inclinadas

Para que as franjas ficassem paralelas entre si e com as bordas da imagem, utilizou-se um algoritmo para retirar a angulação das linhas. O pré-processamento foi o mesmo realizado para o algoritmo que gerou a imagem de referência, com aplicação de um filtro gaussiano na imagem, caso necessário, a fim de minimizar imperfeições, como ilustrado na Figura 16.



Figura 16 Imagem objeto pré-processada com filtro e threshold

De acordo com passo III do fluxograma da Figura 14, foi possível identificar os pontos iniciais e finais de cada linha da grade, como no procedimento para a obtenção da referência do objeto. Com os pontos selecionados, formaram-se as devidas equações de reta para cada linha e uma nova matriz  $D$ , formada pelo conjunto de retas obtidas, semelhante à referência (passo IV do fluxograma da Figura 14). Na Figura 17 ilustra-se a primeira matriz formada, proveniente da imagem da Figura 16.

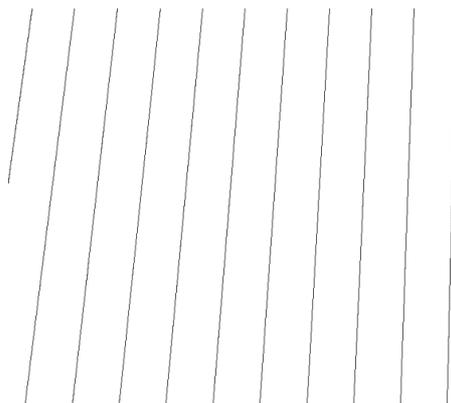


Figura 17 Imagem da matriz formada para a comparação

A matriz (Figura 17) foi comparada com uma segunda matriz, representada por linhas paralelas à borda da imagem, respeitando o ponto inicial de cada linha na parte superior da imagem. Na Figura 18 ilustra-se esta outra matriz, na forma de imagem.

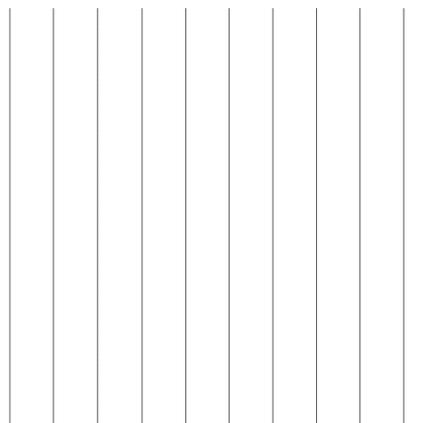


Figura 18 Imagem referência para a comparação das imagens

Com as duas matrizes obtidas nestes processos foi possível iniciar a comparação da distância das grades das matrizes, identificada como “d” (Figura 19). De acordo com o passo V do fluxograma da Figura 14, percorrendo simultaneamente cada linha das matrizes e coletada a distância “d” para cada linha que forma a grade de cada matriz, pode-se identificar a quantidade de pixels ou elementos que deveriam ser deslocados das linhas da grade que forma a imagem da Figura 17. A Figura 19 exemplifica o processo.

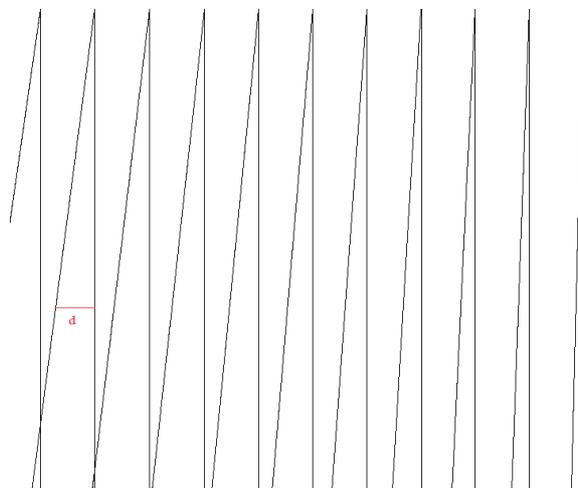


Figura 19 Distância entre as grades e processo de comparação

Como cada distância, para cada conjunto de pontos que formam as grades comparadas, é salva em uma lista, iniciou-se o processo de arraste da matriz inicial, representado pela Figura 16. Ao percorrer a imagem e identificar a linha preta, o algoritmo seleciona a distância a ser deslocada, a partir da diferença das grades naquele ponto. O procedimento foi repetido até que todas as linhas tivessem se deslocado o necessário. Observou-se que, no centro da Figura 16, onde as linhas tinham o formato do objeto, houve uma distância natural entre as curvas que faziam parte da grade e o referencial que se desejava chegar (Figura 18). Foi necessário manter essa distância para que, no fim do processo, o objeto pudesse ser identificado entre a grade. Contudo, como foram comparadas as linhas imaginárias formadas (Figura 17), a distância natural das curvas que formaram o objeto foi mantida.

Ao final, o algoritmo completa cada linha da grade que estiver incompleta (linhas que não tocam as duas bordas horizontais da imagem), devido ao fato de alguns objetos apresentarem curvaturas muito acentuadas, podendo ocorrer a não linearidade da grade em alguma linha da imagem. Entretanto, esta quebra não foi significativa ao ponto de danificar relativamente

a geração do gráfico em três dimensões da imagem e, ao final do procedimento, salvou uma matriz como imagem, obtendo a referência do objeto (passo VI do fluxograma da Figura 14).

### **4.3 Processamento da técnica de *Moiré* utilizando a referência criada**

Com o algoritmo da criação das grades desenvolvido, iniciou-se o processamento da técnica de *Moiré*, utilizando a semiesfera digitalizada (Imagem objeto) capturada através da configuração experimental (objetivo 1 do projeto) e a imagem referência obtida a partir do algoritmo desenvolvido (objetivo 2 do projeto).

Neste processo, utilizou-se um algoritmo desenvolvido por professores, alunos e técnico-administrativos da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) no *software* Scilab, que teve como objetivo gerar uma imagem em nível de cinza, conhecida como objeto recuperado e a imagem 3D da superfície digitalizada.

Para que a imagem de referência fosse obtida, utilizou-se a rotina desenvolvida no algoritmo de criação de referência, que teve como objetivo construir um retículo de referência a partir da imagem objeto, também desenvolvido no *software* Scilab.

Na Figura 20, pode-se observar a imagem objeto, utilizada para criar o retículo de referência.

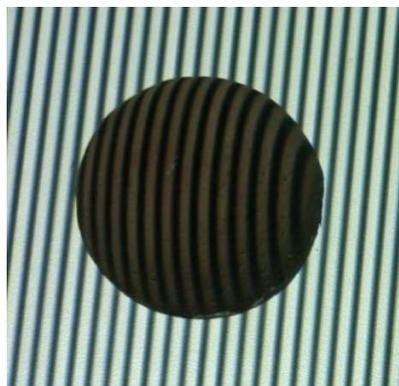


Figura 20 Imagem objeto digitalizada

#### **4.4 Função de correção do ângulo decorrente da utilização de uma câmera**

No intuito de deixar a técnica de *Moiré* mais robusta, iniciou-se a correção decorrente da utilização de apenas uma câmera, tendo como imagem de trabalho o objeto recuperado resultante do processamento da técnica de *Moiré*, utilizando a referência criada (objetivo 3 do projeto) e, como função de referência, utilizou-se a esfera real, ou seja, a função que descreve uma esfera na literatura.

Para a correção de apenas uma linha da esfera digitalizada, tomou-se como base o fluxograma da Imagem 21.

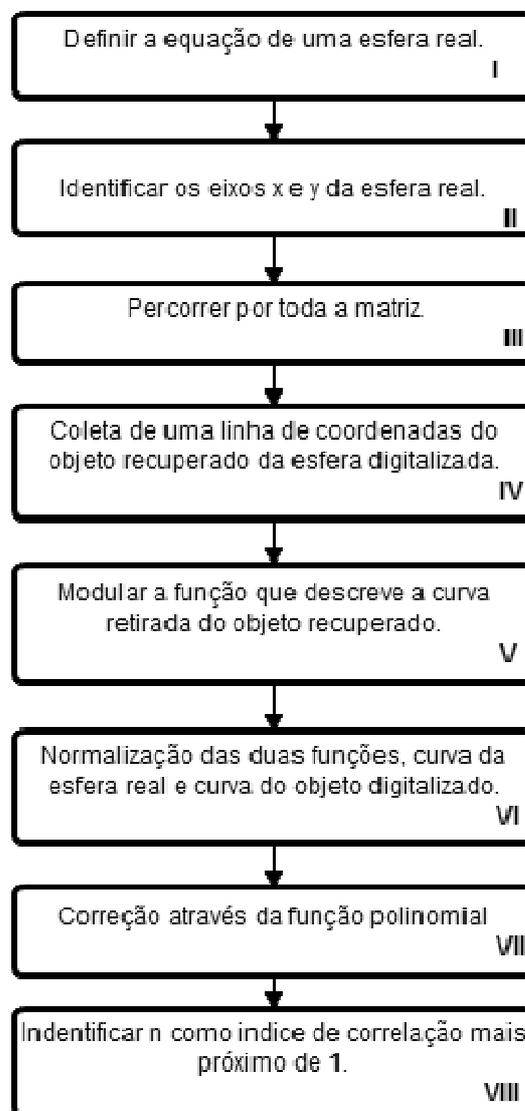


Figura 21 Fluxograma da correção de apenas uma linha da esfera digitalizada

Para o início do processamento do algoritmo, foi necessária a utilização de uma imagem do objeto recuperado, resultante do processamento da técnica de *Moiré*, com objetivo de desenvolver uma rotina de correção do ângulo devido à

utilização de apenas uma câmera. O algoritmo teve como base inicial os dados de uma esfera real, com valores úteis para efetuar e identificar a função que corrigisse uma linha da imagem digitalizada.

De acordo com os passos I e II do fluxograma da Figura 21, o primeiro procedimento a ser tomado foi a identificação da Equação 8, que representa tanto a esfera real quanto a sua geometria.

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2 = r^2 \quad (8)$$

em que  $a$ ,  $b$ ,  $c$  são as coordenadas do centro da esfera nos eixos  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , respectivamente, e  $r$  é o raio da esfera (Figura 22).

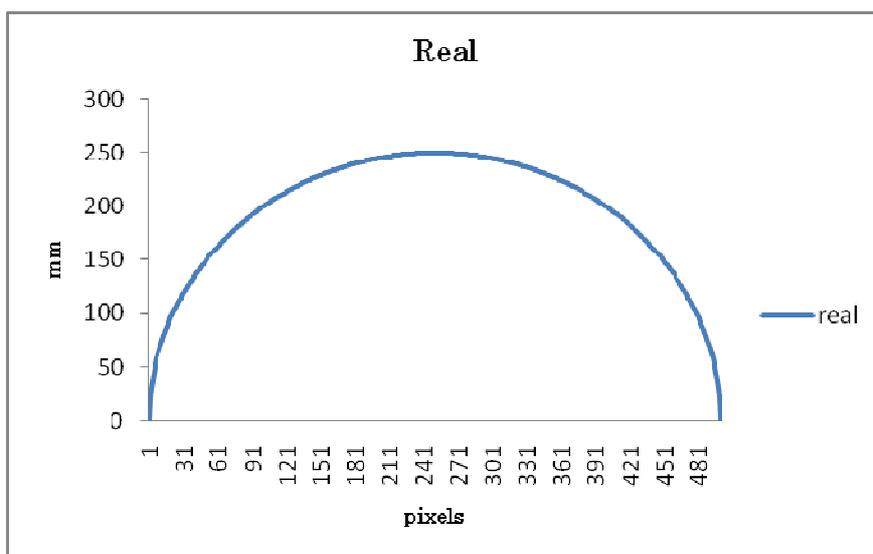


Figura 22 Exemplo do perfil de uma esfera real de 50 mm de diâmetro

Este procedimento foi realizado para obter uma referência para a identificação da equação de correção de apenas uma linha da imagem digitalizada. Com esta equação identificada, iniciou-se o processo da

identificação dos pontos da imagem objeto digitalizado, pela técnica de *Moiré* de projeção.

O passo III do fluxograma da Figura 21 utilizou a imagem objeto, resultante do processamento da técnica de *Moiré*. Foi obtida uma linha na imagem digitalizada do seu perfil com o auxílio do programa ImageJ, a fim de obter as coordenadas x e y, como ilustrado na Figura 23.

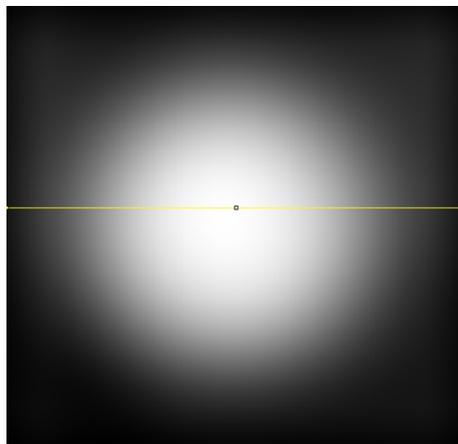


Figura 23 Linha no objeto recuperado da imagem objeto para a obtenção de seu perfil (Figura 24)

Dando continuidade ao fluxograma da Figura 21 passo IV, com a linha coletada da Figura 23, foi possível modular a curva referente ao objeto digitalizado ilustrado na Figura 24.

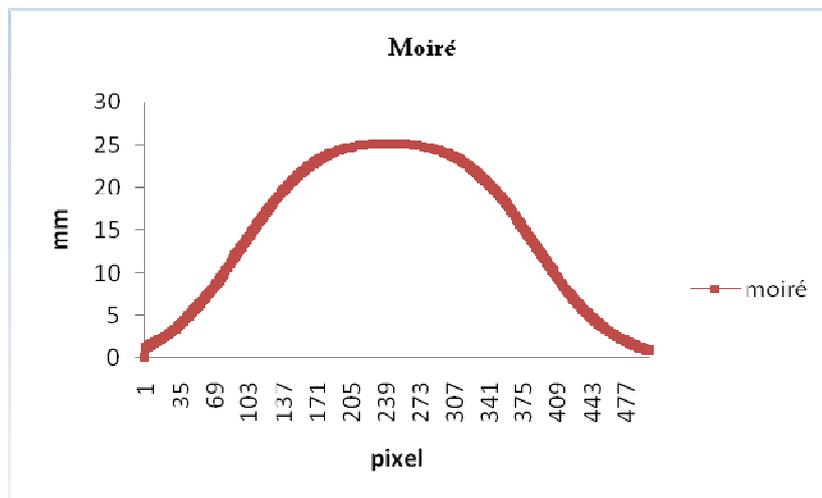


Figura 24 Perfil da esfera objeto digitalizada pela técnica de Moiré

O algoritmo computacional desenvolvido teve a finalidade de corrigir a diferença existente entre as curvas das semiesferas, como ilustrado na Figura 25.

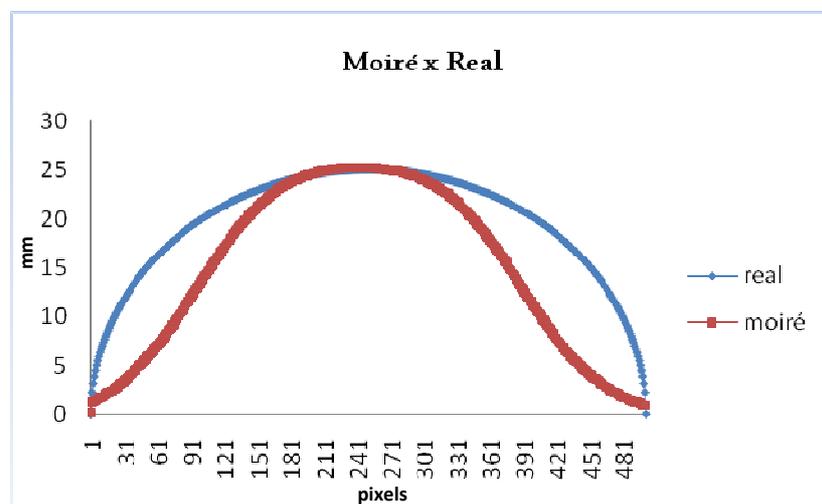


Figura 25 Simetria das duas semiesferas.

Para iniciar o processo do algoritmo, foi necessário salvar os dados do eixo y das duas semiesferas em um arquivo .txt, tendo eixos x das duas semiesferas constantes. Logo, o primeiro passo do algoritmo foi realizar a leitura destes arquivos e normalizá-los (passo V do fluxograma Figura 21) para que fossem trabalhados em uma mesma escala, como ilustrado na Figura 26.

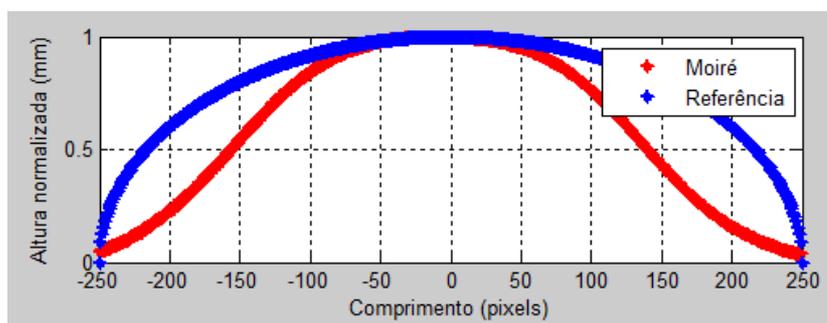


Figura 26 Normalização dos dados.

Para a identificação da função de correção, foi utilizada a função polinomial (passo VI do fluxograma Figura 21); o grau do polinômio corresponde ao valor do maior expoente da variável, ou seja, é o valor  $n$  da função (Equação 9).

$$P(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i. \quad (9)$$

Para finalizar, o passo VII da Figura 21, identificando o valor  $n$  com o índice de correlação mais próximo de 1, o ajuste de identificação da função torna-se melhor.

Como o objetivo final é corrigir toda a imagem objeto recuperado, terminada a correção de apenas uma linha da imagem, iniciou-se o processo da identificação da função de correção da imagem toda. O fluxograma apresentado na Figura 27 ilustra os procedimentos seguidos.

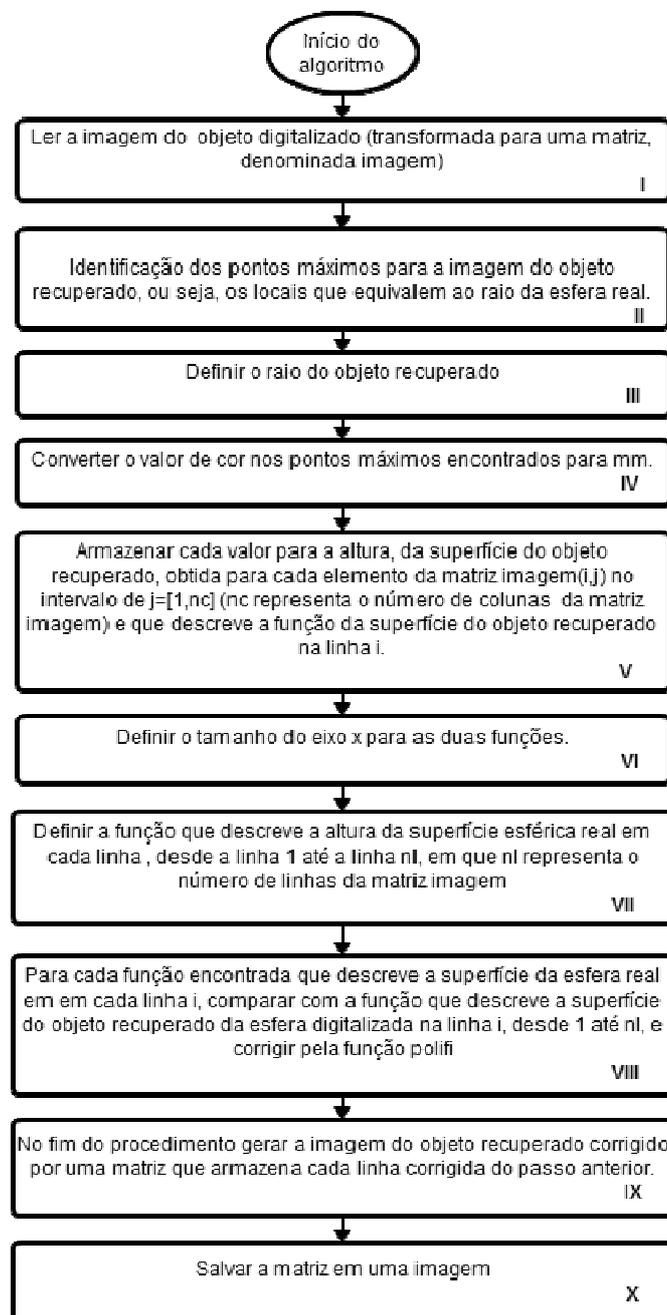


Figura 27 Fluxograma de correção da esfera total

De acordo com o passo I do fluxograma da Figura 27, com uma imagem que representa um objeto recuperado de uma esfera qualquer, a partir da técnica de *Moiré*, o primeiro passo do algoritmo foi a leitura da imagem, pelo comando `imagem = imread ('Endereço da imagem\nome da imagem')`. Em seguida, no passo II do fluxograma Figura 27, definem-se os pontos máximos (coordenadas da matriz que apresentam valor igual ou próximo a 255, ou seja, o centro da imagem) na imagem já em formato matricial (Figura 28).

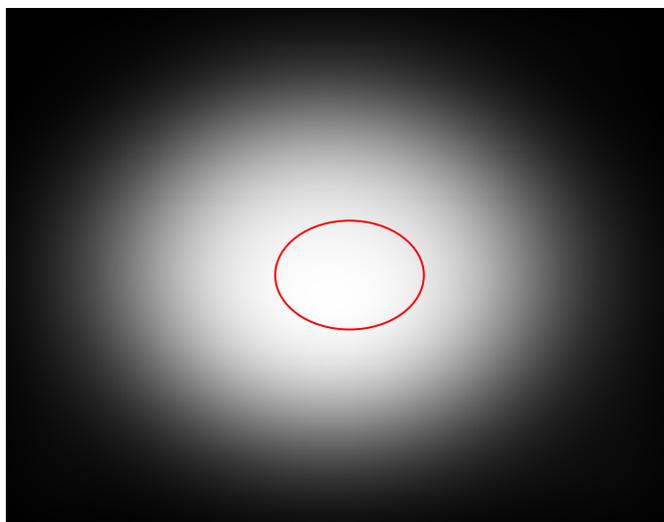


Figura 28 Região de pontos máximos da imagem.

Com o raio da esfera, a imagem lida pelo algoritmo, neste caso, foi de 25 mm. Com os pontos máximos da imagem, obteve-se o comprimento do raio da esfera, convertendo estes pontos de 255 para 25 (passo III do fluxograma Figura 27). Esta correção se estende linha a linha na imagem, até que todos os seus pixels tenham seu valor convertido para mm (passo IV do fluxograma Figura 27). Seja  $a_{ij}$  o elemento da matriz que representa a imagem lida no momento da conversão; o novo elemento a ser adicionado no lugar de  $a_{ij}$  é definido pela Equação 10.

$$\frac{a_{ij}^*}{255} = \text{raio} * a_{ij} \quad (10)$$

Com isso, a matriz da imagem inicial da esfera apresenta, em cada uma de suas coordenadas, o valor real das medidas (passo V do fluxograma Figura 27).

Em seguida, linha a linha da imagem digitalizada foi corrigida, fazendo com que cada linha da imagem se assemelhe a uma linha de uma esfera real. Logo, foi necessário formar cada linha da esfera real. Coletou-se a respectiva linha da imagem, compararam-se os pontos de ambas as linhas e aplicaram-se as correções necessárias. Na Figura 29 exemplifica-se o procedimento.

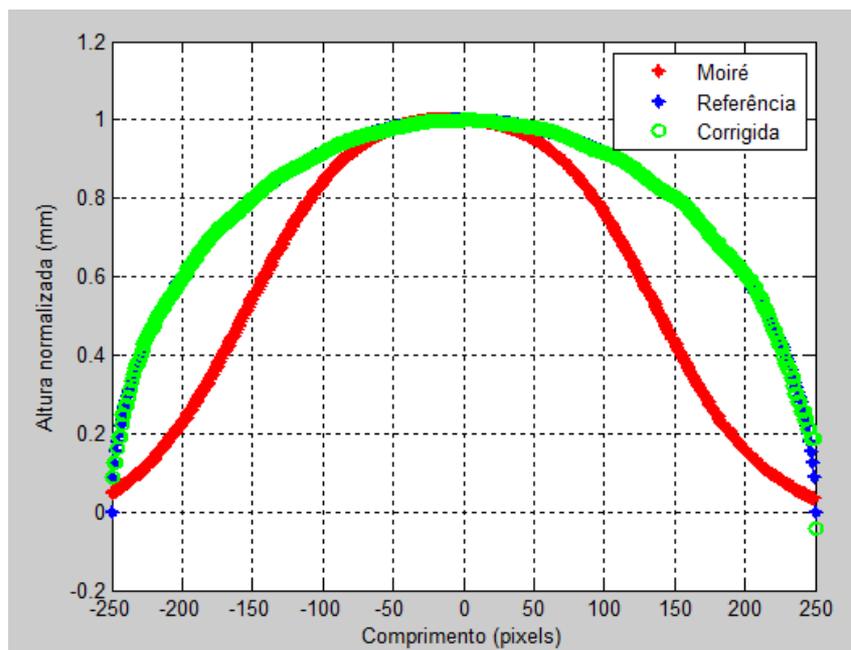


Figura 29 Correção de uma linha da imagem digitalizada.

Para a formação das linhas da esfera real, primeiramente, foi necessário definir as variações de colunas destas linhas, que deveriam ser iguais aos

números de colunas da matriz que representa a imagem (passo VI do fluxograma Figura 27). Seja  $x$  um vetor definido pela Equação 11:

$$x=[0 : (\text{raio}^2)/nc : (\text{raio}^2)-1] \quad (11)$$

em que  $nc$  representa o número de colunas da matriz da imagem. Dessa forma,  $x$  varia de 0 até o diâmetro da esfera recuperada, em intervalos de mesma dimensão. Por exemplo, supondo que a imagem recuperada tem raio igual a 250 e 500 colunas, então,  $x=[0 : 1 : 499]$ , ou seja,  $x$  vai de  $0 \leq x < 499$  ( $x \neq 500$ , pois ultrapassaria  $nc$  em 1). Em seguida, iniciou-se o processo de formação da linha real (passo VII do fluxograma da Figura 27). O processo de formação de cada linha está ilustrado na Figura 30.

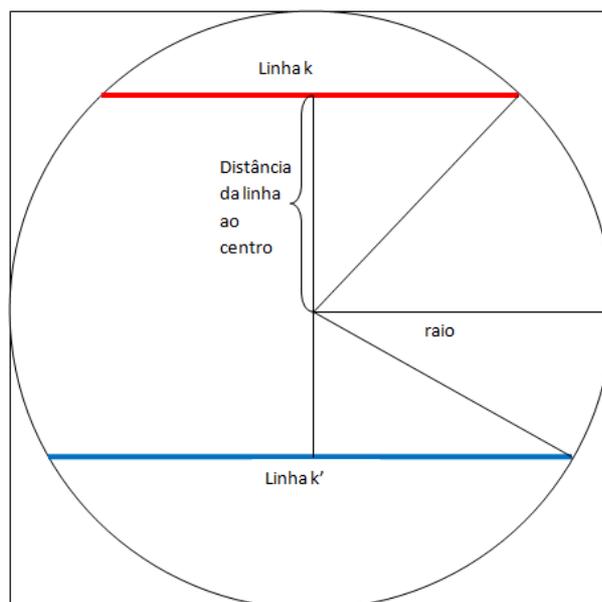


Figura 30 Desenvolvimento do raciocínio na formação das linhas

Na Figura 30, há duas linhas em destaque, uma acima do centro da circunferência e uma abaixo do centro. Analisando, primeiramente, a linha  $k$ , foi

necessário definir o seu raio, denotado por *newraio*, sequencialmente descrito nas Equações 12 e 13.

$$raio^2 = newraio^2 + (distânciadalinhaaocentro)^2 \quad (12)$$

$$newraio = \sqrt{raio^2 - (distânciadalinhaaocentro)^2} \quad (13)$$

No algoritmo, foram percorridas as linhas, desde a linha 1 até a linha *nl* (nº total de linhas), por meio de um contador *i*. Então, a distância da linha ao centro foi igual ao raio menos *i* (local onde está a linha em questão), isto para  $1 \leq i \leq raio$ . Logo,

$$newraio = \sqrt{raio^2 - (raio - i)^2} \quad (14)$$

e, assim, tem-se o valor do novo raio. Quando  $raio < i \leq diâmetro$ , linha *k'*

$$newraio = \sqrt{raio^2 - (i - raio)^2} \quad (15)$$

A Equação 16 resultou da formação da linha *k*, ou da linha *k'*, denotada por *y*.

$$y = \sqrt{newraio^2 - (x^2 - raio^2)} \quad (16)$$

sendo *x* e *y* vetores, ou seja, uma linha arbitrária respectiva à linha *imagem* (*i*, :). Após obter a linha real *y* e a linha da imagem digitalizada, *imagem* (*i*, :), foi iniciada a correção (passo VIII do fluxograma Figura 27).

Utilizou-se a Equação 17 para classificar o polinômio e o seu grau

$$P(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i \quad (17)$$

Identificou-se o valor  $n$  com o índice de correlação mais próximo de 1, de forma que o ajuste desta função torna-se melhor.

Após definida pelo algoritmo a função que mais se ajustou à linha *imagem* ( $i$ ,  $:$ ) em relação à linha  $y$ , foi formada uma nova linha, já corrigida, e adicionada a uma matriz, chamada de corrigida. Então, o algoritmo voltou para o início, corrigindo a linha  $i+1$ , e assim sucessivamente, até que  $i$  fosse igual ao diâmetro, ou a  $n_l$ , nº total de linhas da matriz imagem (passo IX do fluxograma Figura 27). No final do processo, obteve-se a matriz corrigida, que representou a imagem do objeto recuperado da esfera já corrigida, e esta foi salva no endereço especificado pelo usuário (passo X do fluxograma Figura 27).

#### 4.5 Validação em caso real

Ao final do projeto, aplicou-se a função geral de correção em 29 frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) digitalizados, todos com simetrias diferentes. Com o propósito de verificar se a função de correção realizou as distorções causadas pelo ângulo ao utilizar apenas uma câmera, também se identificou até qual nível esta correção foi aceitável e, ao final, mediu-se o volume para cada fruto.

##### 4.5.1 Volumes dos frutos de macaúba

O primeiro método utilizado para medir o volume do fruto de macaúba foi o deslocamento de sementes de painço (*Panicum miliaceum*) (GRISWOLD, 1972). Os valores de volume do fruto de macaúba foram obtidos por meio do

volume de sementes deslocadas, medido em uma proveta, em ml, ao emergir o fruto no recipiente.

Estes ensaios foram desenvolvidos no Laboratório de Grãos e Cereais, no Departamento Ciências dos Alimentos da UFLA.

Utilizou-se uma proveta de 50 ml e um béquer de 250 ml e 250 ml de semente de painço.

Primeiramente, colocou-se o fruto dentro do béquer e completou-se o restante com a semente de painço (*Panicum miliaceum*). A sobra obtida dos 250 ml da semente foi referente ao volume do fruto. Utilizou-se a proveta de 50 ml para medir a sobra da semente, como pode ser visualizado na Figura 31.



Figura 31 Aquisição pelo método semente de painço

O segundo método utilizado para a medição do volume foi o princípio de Arquimedes, conhecido como método de coluna d'água, ou seja, quando um corpo é imerso totalmente em um fluido, o mesmo sofre um empuxo, que é igual ao valor do volume do fluido.

Para a realização destes ensaios, utilizaram-se uma proveta de 1.000 ml, 500 ml de água, uma haste de arame e uma fita métrica.

Primeiramente, colocou-se a água na proveta, emergindo todo o fruto com a ajuda de uma haste de arame. Com isso, houve o deslocamento da água, resultante do volume de cada fruto medido. Utilizou-se a fita métrica de 1 m colada de fora da proveta, para obter medidas mais precisas, como ilustrado na Figura 32.

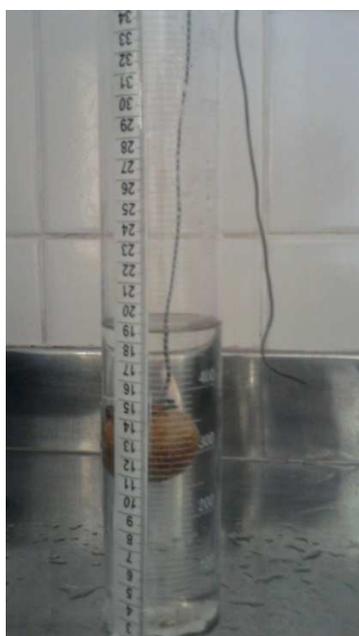


Figura 32 Aquisição pelo método de coluna d'água

O terceiro método utilizado foi o *Moiré* de projeção, utilizando apenas um projetor e uma câmera, como ilustrado na Figura 33.



Figura 33 Aquisição pelo método da técnica de *Moiré*

Digitalizou-se, juntamente com os frutos, uma esfera de 50 cm que tinha dimensões semelhantes à dos frutos. Foram utilizados os dados de uma esfera real, que tem dimensões conhecidas com a digitalizada, para se obter uma base para a identificação dos volumes dos frutos.

Primeiramente, identificou-se o volume da esfera real a partir da Equação 18.

$$v = 4 / 3\pi r^3 \quad (18)$$

Por meio desta fórmula foi identificado o volume da esfera com um valor correspondente a  $65,45 \times 10^3 \text{ mm}^3$ .

Ao identificar os valores da esfera real e da esfera digitalizada, aplicou-se o algoritmo de identificação do volume com os dados de cada fruto, identificando-se, assim, o volume de cada um.

O volume específico foi calculado pela reação volume/massa. Os frutos de macaúba foram pesados em balança analítica, modelo 0079247 (Denver

Instrument Compsny, Nova Yourk, EUA), em seguida calculado pelos métodos estudados (Figuras 31, 32 e 33).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Configuração experimental

A configuração experimental, com seus respectivos ângulos, para digitalização da semiesfera a ser trabalhada no desenvolvimento dos algoritmos e também os frutos de macaúbas, está ilustrada na Figura 34.

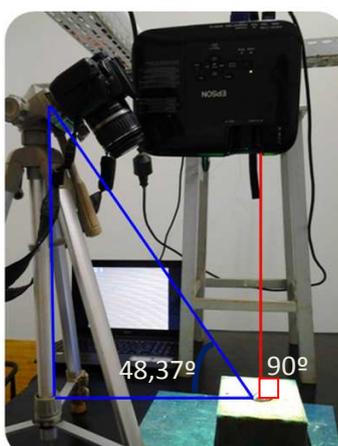


Figura 34 Configuração experimental para utilização da técnica de Moiré

A distância da câmera em relação ao objeto na horizontal foi de 0,4 m e na vertical foi de 0,45 m, tendo uma distância inclinada de 0,51 m, formando, assim, um ângulo de  $48,37^\circ$ .

A distância do projetor em relação ao objeto na vertical foi de 0,46 m, formando um ângulo de  $0^\circ$  na horizontal, formando, assim, um ângulo de  $90^\circ$  em relação ao objeto digitalizado.

## 5.2 Desenvolvimento de uma rotina capaz de construir uma imagem referência a partir da imagem objeto digitalizada.

Na Figura 35 ilustra-se a criação das grades a partir da imagem objeto.

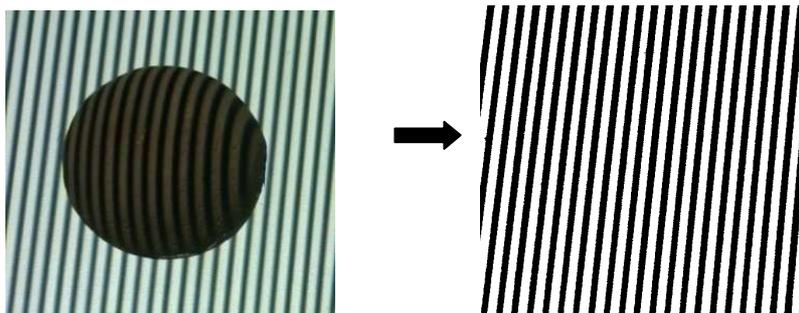


Figura 35 Resultado da rotina para geração de retículo de referência

Os resultados demonstraram que a técnica pode ser aplicada com mais sucesso para o estudo da deformação de sólidos sem a perda de informações. As aquisições de retículos de referência feitas diretamente da câmera fotográfica perderam informações, pois, ao pressionar o botão de captura da câmera, as grades sofreram um deslocamento, formando diferenças entre as grades da imagem objeto e da referência que está sendo capturada. Nas Figuras 36 e 37 ilustra-se este procedimento.

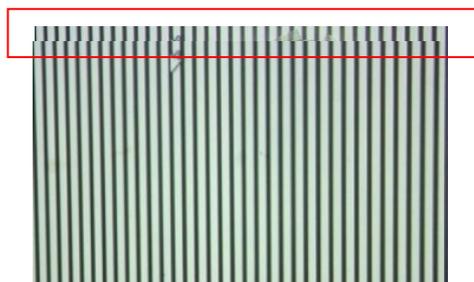


Figura 36 Retículo de referência capturado pelo clique da câmera

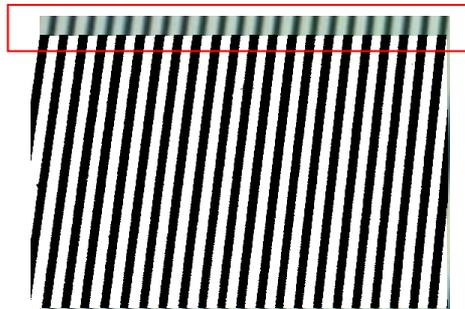


Figura 37 Retículo de referência a partir da rotina desenvolvida

O desenvolvimento deste algoritmo de referência foi de grande vantagem para estudos de vários objetos, que têm como obstáculos a captura de um retículo de referência igual ao objeto, podendo-se citar as aquisições dos frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*), em que foi preparada certa estrutura para posicionar os frutos. A retirada dos frutos causava deformações na estrutura, impossibilitando a coleta de imagens de referência semelhantes aos do objeto. Na Figura 38 ilustra-se a estrutura utilizada.

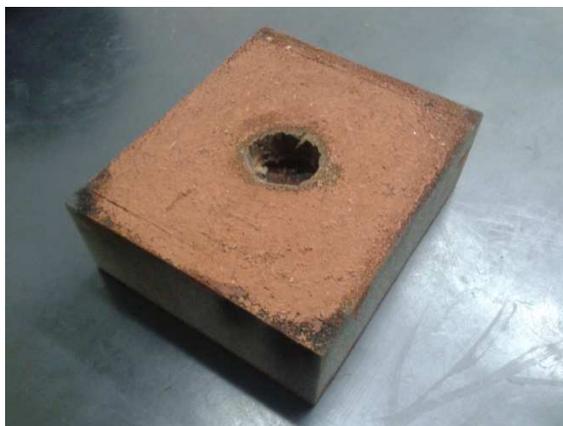


Figura 38 Estrutura desenvolvida para posicionar os frutos para digitalização

### 5.2.1 Correção digital das grades

Visando o melhoramento dos ângulos das grades sobrepostas sobre o objeto, o algoritmo corrigiu todos os ângulos obtidos na imagem objeto, conforme se observa nas Figuras 39 e 40.



Figura 39 Imagens antes das linhas inclinadas

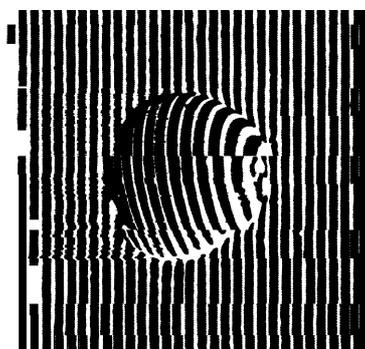


Figura 40 Resultado do algoritmo

Verifica-se que a imagem formada apresenta as linhas da grade paralelas entre si e com suas bordas verticais, mantendo a curvatura natural das linhas que formam o objeto. Portanto, o algoritmo de correção digital das grades obteve resultado satisfatório, apesar de pequenas imperfeições nas linhas.

Estas imperfeições não causaram perdas consideráveis de informações ao processar a técnica de *Moiré*. Na Figura 41 ilustra-se um resultado do objeto recuperado, obtido após o processamento, em que é possível identificar a formação de uma semiesfera.

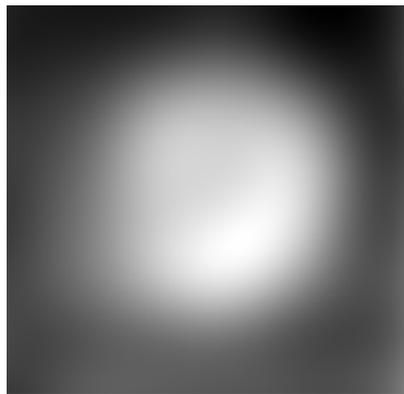
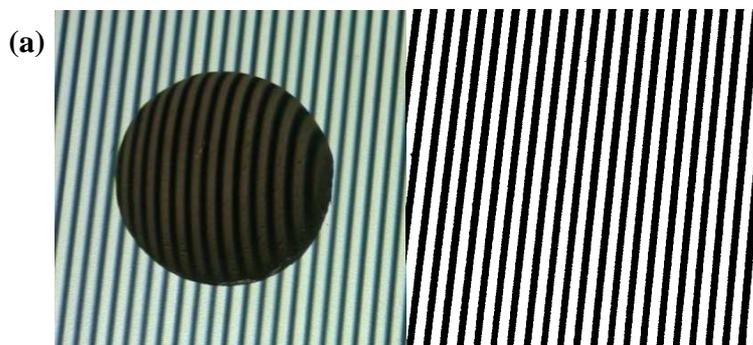


Figura 41 Objeto recuperado obtido da correção digital das grades

### 5.3 Processamento da técnica de *Moiré* utilizando a referência criada

Verificou-se que, com o retículo de referência criado, obteve-se um resultado satisfatório, sem perda de informações do objeto digitalizado. Na Figura 42 (a) ilustram-se as imagens antes do processamento, e em (b) e (c) ilustram-se os resultados do processamento da técnica de *Moiré*.



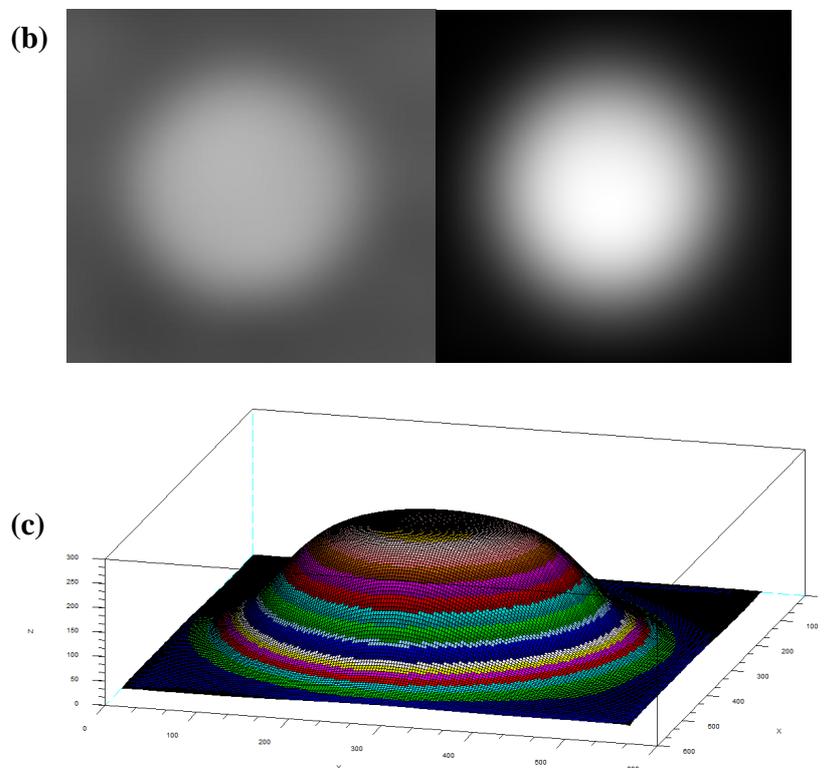


Figura 42 (a) Imagens antes do processamento; (b) objeto recuperado resultante do processamento; (c) resultado das curvas de níveis do objeto digitalizado

A partir da Figura 42, foi possível identificar que a imagem objeto recuperado tem simetria da esfera digitalizada e o objeto 3D tem todas as suas curvas de níveis definidas.

#### 5.4 Função de correção do ângulo decorrente da utilização de uma câmera

Com a utilização de funções de polinômio, foi possível identificar a função de correção do lado esquerdo e do lado direito de apenas uma linha da imagem, como ilustrado na Figura 43.

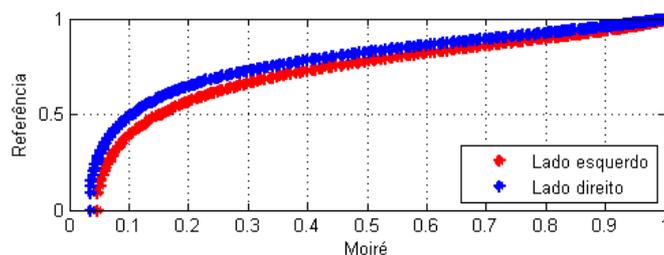


Figura 43 Função *Moiré* x Referência

Foi realizada a junção de ambos os lados, obtendo-se a função de correção, utilizando como referência uma esfera real, como ilustrado na Figura 44.

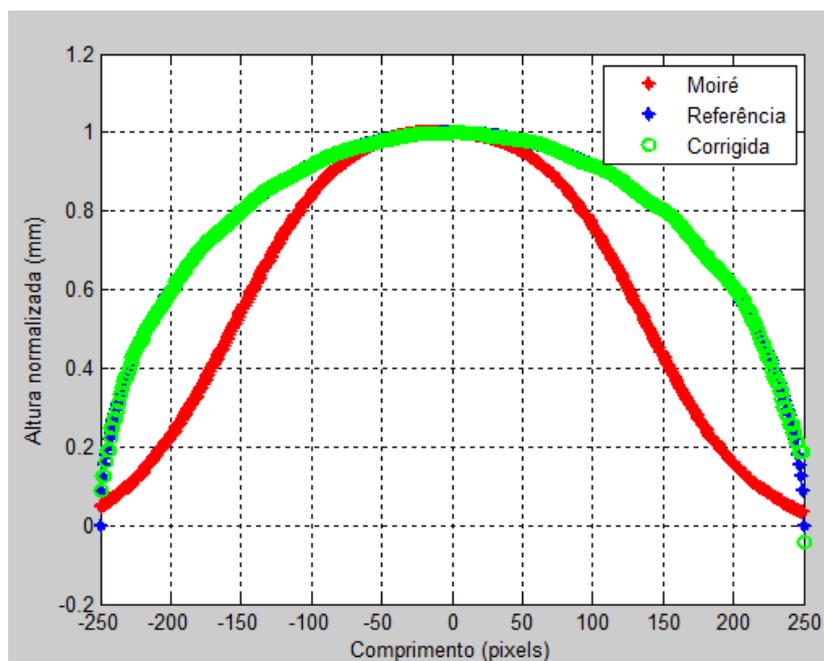


Figura 44 Correção dos ângulos resultante da técnica de *Moiré*

Função de correção do lado esquerdo

-32.3425 +117.0517 -167.4241 +120.7227 -46.5141 +9.7397 -0.2394

Função de correção do lado direito

131.7047 -523.7569 +848.6949 -

720.6918 +344.0749 +92.5137 +13.7254 -0.2325

Utilizando o procedimento da correção de uma linha, aplicado à correção com polinômio da imagem toda, resulta no final do algoritmo a Figura 45.

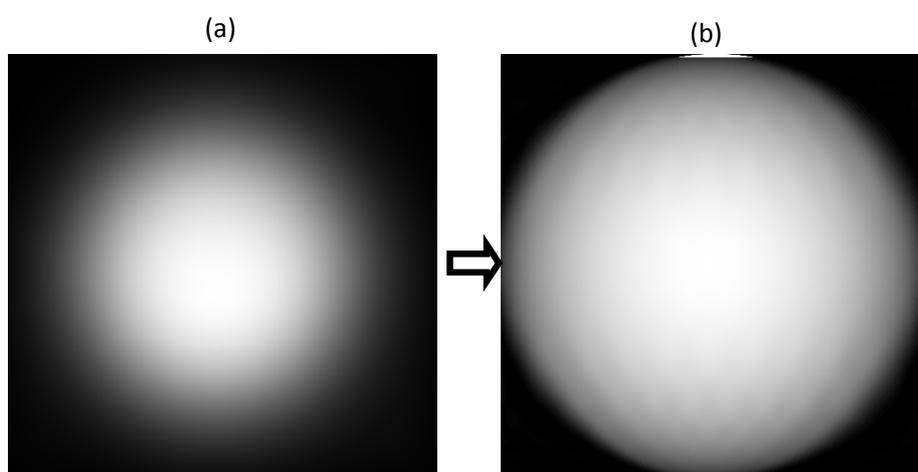


Figura 45 (a) Imagem antes de aplicar correção; (b) imagem após correção

### 5.5 Aplicação da função de correção em caso piloto

Ao identificar a função para a correção da distorção proveniente da utilização de apenas uma câmera, a mesma foi aplicada a vários frutos de macaúba com simetrias variadas, para analisar até que grau o algoritmo suporta para fazer a correção da imagem. Na Figura 46 é possível identificar a correção do fruto, que tem dimensões de 433 mm x 440 mm.

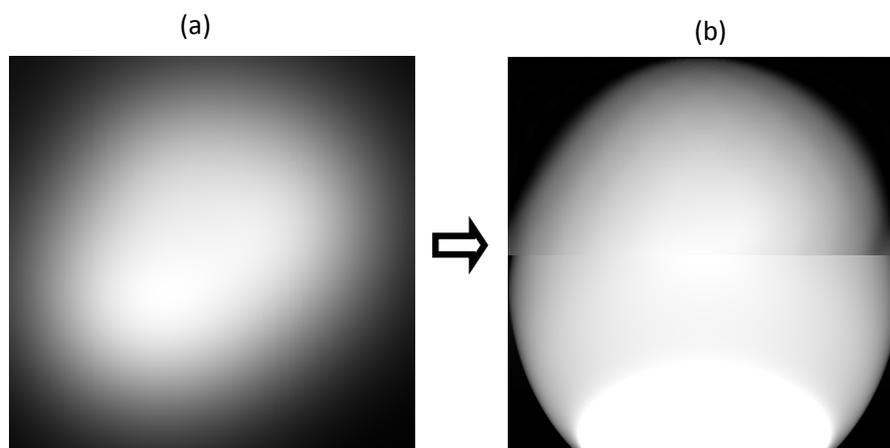


Figura 46 (a) Fruto antes de corrigir; (b) resultado da correção do fruto de macaúba com dimensões 433 mm x 440mm.

Na Figura 47 ilustra-se a correção também de fruto de macaúba, com dimensões de 484 mm x 465 mm

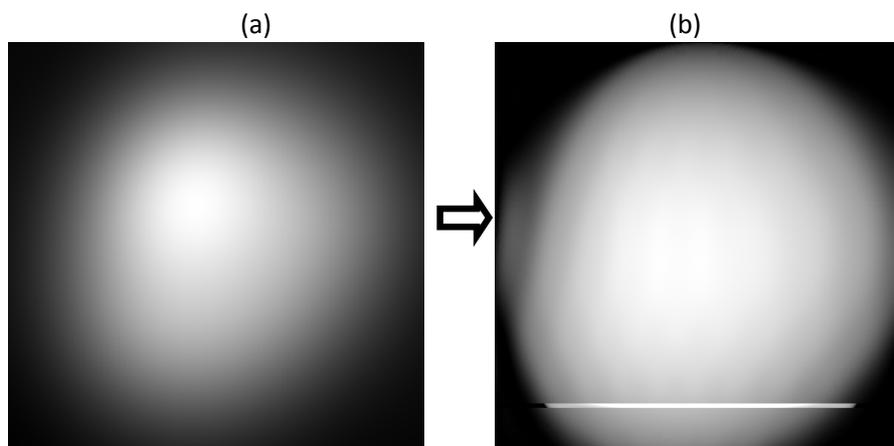


Figura 47 (a) Fruto antes de corrigir; (b) resultado da correção do fruto de macaúba com dimensões 484 mm x 465mm.

Foi possível identificar com a correção do algoritmo em imagens digitalizadas de ângulos mais inclinados a quebra na imagem ( Figura 46).

Sendo que na Figura 47, a qual não possui inclinação no ângulo, obtêm um resultado mais uniforme e preciso do fruto real. Foi possível identificar este resultado em todas as imagens em que foram feitas as análises.

Também foi possível identificar que o algoritmo corrige imagens de diferentes dimensões, bastando apenas alterar o valor do raio no algoritmo desenvolvido, de acordo com a respectiva imagem digitalizada.

### **5.5.1 Volume específico do fruto de macaúba**

Os resultados do volume obtidos por meio de cada método são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Resultado dos volumes obtidos pelos três métodos (*Moiré*, MCA e semente de painço)

Frutos	<i>Moiré</i>	MCA	Semente de painço	Frutos
	vol. total (mm <sup>3</sup> )	vol. total (mm <sup>3</sup> )	vol. total (mm <sup>3</sup> )	Peso (g)
Fruto1	45.229	41.180	41.500	351.550
Fruto2	46.651	35.260	37.000	389.830
Fruto3	49.892	44.120	43.000	428.400
Fruto4	36.351	35.290	36.000	282.390
Fruto5	47.160	41.180	36.500	412.920
Fruto6	45.447	41.180	39.500	297.120
Fruto7	52.337	50.000	47.000	445.430
Fruto8	51.852	44.110	40.500	431.970
Fruto9	53.508	50.000	50.000	479.900
Fruto10	49.895	41.170	40.500	370.420
Fruto11	55.225	47.060	48.000	485.070
Fruto12	47.086	41.180	41.500	355.500
Fruto13	46.968	41.180	41.000	283.110
Fruto14	48.764	38.230	37.000	412.560
Fruto15	47.084	38.230	38.000	373.490
Fruto16	45.349	38.230	36.000	251.370
Fruto17	43.802	38.230	35.000	373.610
Fruto18	39.643	32.350	31.500	345.180
Fruto19	47.641	38.230	37.000	417.660
Fruto20	49.625	41.180	39.000	408.800
Fruto21	49.268	41.180	38.000	414.420
Fruto22	44.017	38.230	37.000	330.270
Fruto23	48.111	38.230	35.000	398.210
Fruto24	47.344	35.250	35.500	398.080
Fruto25	51.926	47.050	43.500	441.890
Fruto26	52.665	50.000	51.000	439.040
Fruto27	51.043	50.000	47.500	424.870
Fruto28	46.075	38.230	35.000	371.240
Fruto29	47.828	23.350	39.000	368.030

Os resultados obtidos demonstram que o método de *Moiré* utilizando apenas uma câmera, associado ao MCA e à semente de painço (*Panicum miliaceum*), que são métodos referências para a identificação de volumes, proporcionou resultados mais precisos, tornando-o mais viável para medições de volume.

No Gráfico 1 ilustra-se o resultado de *Moiré*, com um índice de

correlação próximo de 1, resultante de 0,613; no Gráfico 2, o método de MCA, com um índice de correlação igual a 0,279 e, no Gráfico 3, o método de semente de painço, com um índice de correlação igual a 0,304.

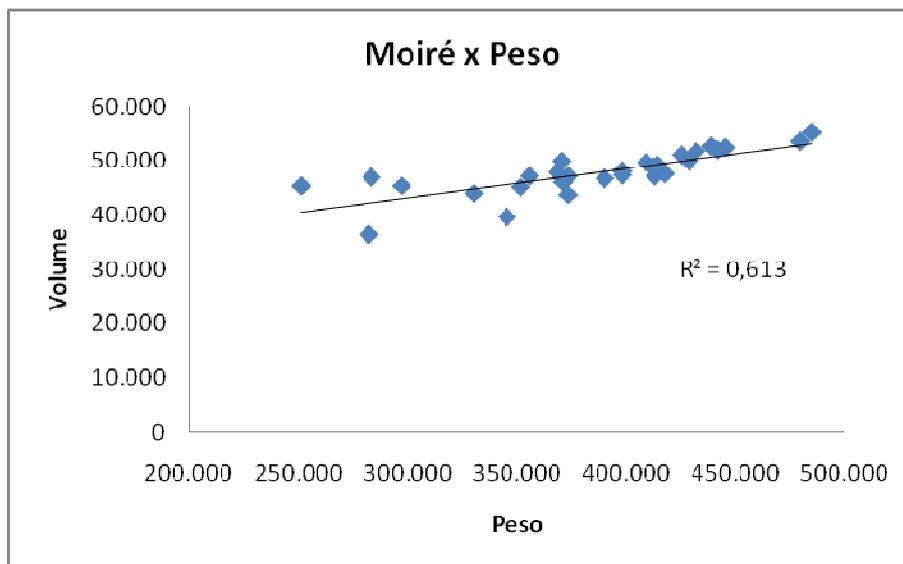


Gráfico 1 Correlação do método *Moiré* x peso

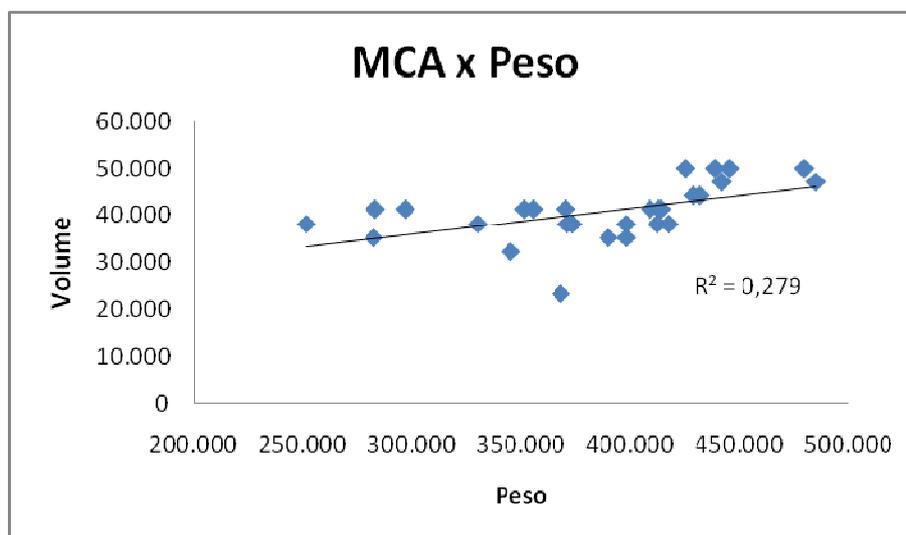


Gráfico 2 Correlação do MCA x peso

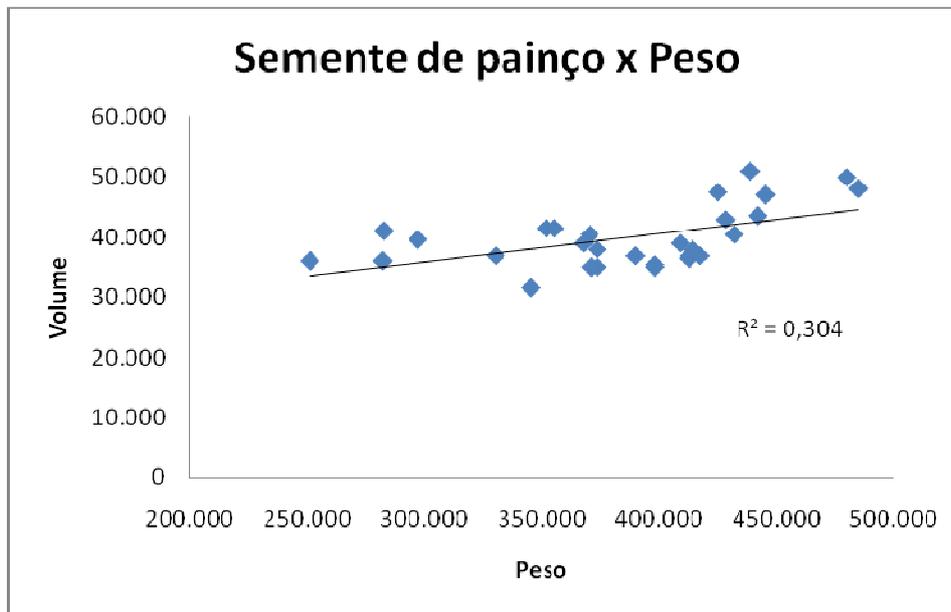


Gráfico 3 Correlação do método de semente de painço x peso

Após o desenvolvimento do algoritmo de correções de ângulos, proveniente da utilização de uma câmera, processou-se a esfera digitalizada, obtendo-se o resultado da Figura 48 (a) correção da esfera digitalizada e (b) objeto 3D da esfera utilizando o programa ImageJ.

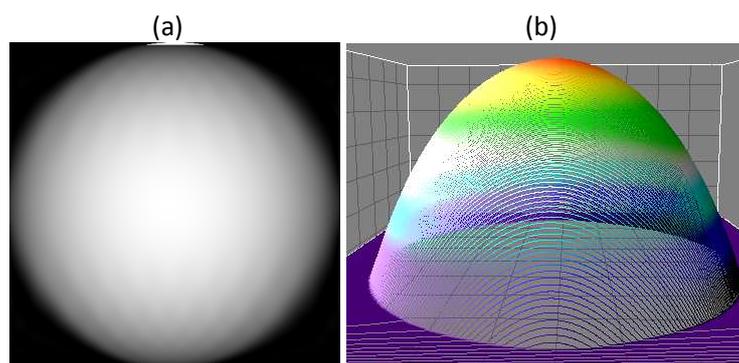


Figura 48 (a) Correção da esfera digitalizada; (b) Objeto 3D

Com este resultado aplicou-se novamente o algoritmo de cálculo de volume, podendo-se identificar um novo volume da esfera digitalizada, com um valor de  $65,73 \times 10^3$  mm. Este valor foi semelhante ao volume da esfera real, que corresponde a  $65,45 \times 10^3$  mm.

O algoritmo de correção da imagem toda foi aplicado em todos os 29 frutos de macaúba, obtendo-se um novo resultado do volume em relação aos obtidos apenas pelo processo da técnica de *Moiré*. Na Tabela 2 é possível identificar esta diferença.

Tabela 2 Volume dos frutos antes e após a correção, utilizando função.

<b>Frutos</b>	<b><i>Moiré</i></b>	<b><i>Moiré Ajuste</i></b>
	<b>vol. total (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>vol. total (mm<sup>3</sup>)</b>
<b>Fruto1</b>	<b>45.229</b>	<b>39.721</b>
<b>Fruto2</b>	<b>46.651</b>	<b>43.616</b>
<b>Fruto3</b>	<b>49.892</b>	<b>48.920</b>
<b>Fruto4</b>	<b>36.351</b>	<b>32.089</b>
<b>Fruto5</b>	<b>47.160</b>	<b>47.396</b>
<b>Fruto6</b>	<b>45.447</b>	<b>38.469</b>
<b>Fruto7</b>	<b>52.337</b>	<b>49.394</b>
<b>Fruto8</b>	<b>51.852</b>	<b>45.199</b>
<b>Fruto9</b>	<b>53.508</b>	<b>53.993</b>
<b>Fruto10</b>	<b>49.895</b>	<b>42.124</b>
<b>Fruto11</b>	<b>55.225</b>	<b>53.754</b>
<b>Fruto12</b>	<b>47.086</b>	<b>42.038</b>
<b>Fruto13</b>	<b>46.968</b>	<b>40.637</b>
<b>Fruto14</b>	<b>48.764</b>	<b>47.273</b>
<b>Fruto15</b>	<b>47.084</b>	<b>43.691</b>
<b>Fruto16</b>	<b>45.349</b>	<b>35.275</b>
<b>Fruto17</b>	<b>43.802</b>	<b>40.087</b>
<b>Fruto18</b>	<b>39.643</b>	<b>40.284</b>
<b>Fruto19</b>	<b>47.641</b>	<b>44.055</b>
<b>Fruto20</b>	<b>49.625</b>	<b>45.238</b>
<b>Fruto21</b>	<b>49.268</b>	<b>48.141</b>
<b>Fruto22</b>	<b>44.017</b>	<b>37.330</b>
<b>Fruto23</b>	<b>48.111</b>	<b>48.635</b>
<b>Fruto24</b>	<b>47.344</b>	<b>47.362</b>
<b>Fruto25</b>	<b>51.926</b>	<b>50.136</b>
<b>Fruto26</b>	<b>52.665</b>	<b>53.221</b>
<b>Fruto27</b>	<b>51.043</b>	<b>46.294</b>
<b>Fruto28</b>	<b>46.075</b>	<b>41.550</b>
<b>Fruto29</b>	<b>47.828</b>	<b>41.909</b>

Com estes resultados, o Gráfico 4 ilustra o resultado do *Moiré*, com um índice de correlação mais próximo de 1, resultante de 0,837.

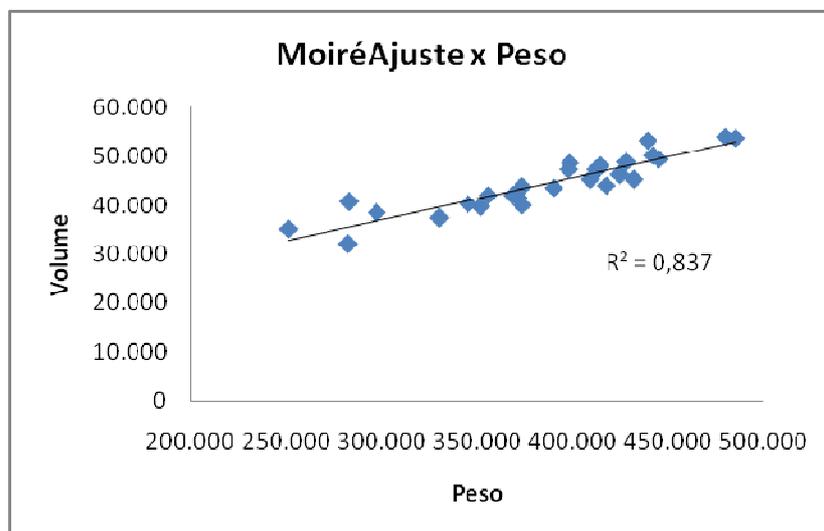


Gráfico 4 Correlação do Método de *Moiré* Ajuste x Peso

Com estes resultados, houve uma correção mais precisa do volume dos frutos, tendo um acréscimo de 0,224 no índice de correlação, totalizando 0,837, podendo-se concluir que o método de *Moiré* utilizando apenas uma câmera é viável para a identificação de volume.

## 6 CONCLUSÃO

- a) Foi possível identificar uma configuração experimental com medidas precisas para aplicar a técnica de *Moiré* de projeção, obtendo-se resultados satisfatórios.
- b) O algoritmo desenvolvido para a construção de referência mostrou-se viável para aquisições da técnica de *Moiré* em ambientes de difícil controle, para adquirir uma referência que fosse idêntica à imagem objeto.
- c) Os resultados do processamento da técnica de *Moiré* com a utilização da referência criada apresentaram resultados precisos, obtendo mais informações do objeto em análise, pois tem todas as informações das grades do objeto, sem perda de distância.
- d) O algoritmo de identificação da função de correção do ângulo, decorrente da utilização de uma câmera, foi capaz de corrigir toda a imagem e obteve um resultado satisfatório da correção dos objetos.
- e) Com a aplicação da função de correção, foi possível identificar que o algoritmo não tem limite de tamanho de imagens para processar. Em todos os objetos em que foi aplicado este algoritmo, obtiveram-se resultados satisfatórios. Foi possível identificar que este algoritmo também é aplicado para objetos com raio proporcional ao da esfera digitalizada e restrito para objetos com simetrias semelhantes ao da esfera real.
- f) Ao aplicar todos os algoritmos desenvolvidos chegou-se à conclusão de que a técnica de *Moiré* utilizando apenas uma câmera mostrou-se um método viável para a identificação de volumes de objetos.

## 6.1 Trabalhos futuros

Como proposta de trabalhos futuros destacam-se:

- a) aplicar o algoritmo de criação de referência em outros tipos de experimentos;
- b) aplicar a correção digital em outros tipos de objetos digitalizados;
- c) digitalizar outros tipos de objetos com raios diferentes, utilizando a técnica de *Moiré* com apenas uma câmera;
- d) alterar o raio da rotina e aplicar em objetos com o raio proporcional.

## REFERÊNCIAS

- ASSUNDI, A. **Computer aided moiré methods**. Disponível em: <<http://www.ntu.edu.sg/home/masundi/optical-methods/moire/camm.html>>. Acesso em: 12 dez. 2013.
- ASSUNDI, A.; YUNG, K. H. Logical *Moiré* and its application. **Experimental Mechanics**, London, v.31, n.3, p.236-242, 1991.
- ASUNDI, A. Novel techniques in reflection *Moiré*. **Experimental Mechanics**, London, v. 34, n. 5, p. 230-242, Sept. 1994.
- BRAGA, R. A. et al. Suppression of border effects in moiré techniques using threedimensional methods. **Biosystems Engineering**, Essex, v.102, n.1, p. 1-8, 2009.
- CLOUD, G. **Optical methods of engineering analysis**. Cambridge: Cambridge University, 1998. 520 p.
- COELHO, D. E. C. **Desenvolvimento de uma técnica ótica para digitalização do solo após o contato rodado-solo**. 2013. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- COSTA, R. M. **Proposta de um processo de captura e análise de imagens para determinação de forma e superfície de materiais biológicos pela técnica de *Moiré***. 2006. 35 p. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- CURLESS, B. **Siggraph 99 course on 3D photography: overview of active vision techniques**. Disponível em: <<http://www.cs.cmu.edu/~seitz/course/SIGG99/slides/curlless-active.pdf>>. Acesso em: 1 jul. 2013.
- DIRKS, J. J. J.; DECRAEMER, W. F.; DIEELIS, G. Phase Shift method based on object translation for full field automatic 3D surface reconstruction from *Moiré* topograms. **Applied Optics**, Washington, v. 27, n. 6, p. 1164-1169, Mar. 1988.
- GASVIK, K.J. *Moiré* techniques by means of digital image processing. **Applied Optics**, Washington, v.22, n.23, p.3543-3548, Sept. 1983.

GOMES, J.; VELHO, L. **Computação gráfica: imagem**. 2. ed. Rio de Janeiro: IMPA, 2002. 424p.

GOMES, T. S. **Interferometria Speckle e *Moiré* geométrico aplicados à perfilometria de protótipos mecânicos**. 2005. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

GOMES, T. S. et al. Calibração da técnica de *Moiré* aplicada a perfilometria de protótipos mecânicos. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 574-579, mar./abr. 2009.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2009. 624p.

GRISWOLD, R. M. **Estudo experimental dos alimentos**. São Paulo: EDUSP, 1972. 469 p.

HERTZ, H. et al. Construção de um protótipo para análise postural através da técnica de *Moiré* de sombra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 11., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Biomecânica, 2005. p.4.

HU, Q. **3-D Shapemeasurementtechniques**. Disponível em: <<http://www.sinc.sunysb.edu/Stu/qhu/Chapter1.htm>>. Acesso em: 2 fev. 2013.

LINO, A. C. L. **Técnica óptica de *Moiré* visando a aplicação no estudo de superfícies irregulares**. 2002. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

LINO, A. C. L.; DAL FABRO, I. M. Determinação da topografia de uma fruta pela técnica de *Moiré* de sombra com multiplicação de franjas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.28, n.1, p.119-125, jan./fev. 2004.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999. 331 p.

MAZZETI FILHO, V. M. **Utilização da interferometria de *Moiré* na caracterização de rotores de máquinas agrícolas**. 2004. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

MENEZES, P.; ALMEIDA, T. **Processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB, 2012. 266 p.

SCIAMMARELLA, C. A. The *Moiré* method: a review. **Experimental Mechanics**, London, v.44, n.8, p. 418-433, Nov. 1982.

SCURI, A. E. **Fundamentos da imagem digital**. Rio de Janeiro: PUC, 2002. 95 p.

SHITAKUBO, F.; FABBRO, I. M.; LINO, L. A. O. *Moiré* interferometry applied to support fish. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN AGRICULTURE, FOOD AND ENVIRONMENT, 1., 2003, Izmir. **Proceedings...** Izmir: K.O.Sindir, 2003. p. 604-607.

SILVA, A. M. **Curso processamento digital de imagens de satélite**. Porto Alegre: PUCRS, 2001. Disponível em: <<http://www.cartografia.org.br>>. Acesso em: 19 out. 2013.

SILVA, M. J. A.; ALVES, M. C. A.; COSTA, I. F. **Imagem: uma abordagem histórica**. Curitiba: UFPR, 2007. 10 p.

SILVA, M. V. G. **Determinação das dimensões espaciais de corpos sólidos por técnicas ópticas de *Moiré***. 2011. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

SPRING, C. G. et al. Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, New York, v. 20, p. 395-403, May/June 1996.

STEWART, J. **Cálculo**. 5. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006. 29 p.

WALKER, C.A. A historical review of *Moiré* interferometry. **Experimental Mechanics**, London, v.14, p.281-299, Oct. 1993.

WINDISCHBAUER, G. Survey on application of *Moiré*-techniques in medicine and biology. In: BALLY, G. von; GREGUSS, P. (Ed.). **Optical in biomedical sciences**. Berlin: Springer, 1982. p. 245-249. (Spring Series in Optical Science, 20).

## ANEXOS

//Algoritmo para identificação do volume da esfera digitalizada

```

vol=0;
  for i=1:N
    for j=1:M
      area=(a(i,j)*0.1)+area;
    end;
    vol=area*0.1 + vol;
    area=0;
  end;
vol=vol*2;
imshow(a)

```

---

//Algoritmo de identificação do volume de cada fruto

```

%-----Ajuste do fruto 1-----%
a = imread('C:\Users\Elismar\Desktop\FrutoOriginal\Milimetrol.tif');
a=rgb2gray(a);
[M N]=size(a);
a=double(a);
  for i=1:M
    for j=1:N
      a(i,j)=((93/455)*i)-93 + a(i,j);
      a(i,j)=a(i,j)*((46.7/2)/255);
    end;
  end;
plot(a(230,:));
area=0;
vol=0;
  for i=1:M
    for j=1:N
      area=(a(i,j)*0.1)+area;
    end;
    vol=area*0.1 + vol;
    area=0;
  end;
vol=vol*2;
vol=(vol*(0.6545/0.3998));
imshow(a)

```

---

/////Algoritmo para criar referência/////

```

function[vx11]=ref(c);
[nlnc]=size(c);
vx11=list();
w=1;
para1=%f;
para2=%f;
para3=%f;
para4=%f;
eixo1=%f;
eixo2=%f;
paratudo=%f;
j=1;
i=1;
whileparatudo==%f;
ifj>ncthen
eixo1=%t;
jj=1;
end
ifi>nlthen
eixo2=%t;
ii=1;
end
if(j>nc&i>nl);
paratudo=%t;
end
ifeixo1==%f&(c(1,j)==0&c(1,j+1)==255)then
para1=%t;
end
ifeixo2==%f&(c(i,1)==0&c(1,j+1)==255)then
para2=%t;
end
ifpara1==%tthen
j=j-1;
end
ifpara2==%tthen
i=i-1;
end
end
if(eixo1==%f&eixo2==%f)&(para1==%t&para2==%t)then
para1=%f;
para2=%f;
vx11(w)=[1,j,i,1];
w=w+1;
end
ifeixo2==%t&(c(nl,jj)==0&c(nl,jj+1)==255)then
para4=%t
end
ifeixo1==%t&(c(ii,nc)==0&c(ii+1,nc)==255)then
para3=%t;
end

```

```

if para3==%t then
ii=ii-1;
end
if para4==%t then
jj=jj-1;
end
if (eixo2==%t & eixo1==%f) & (para3==%t & para4==%f) then
para3=%f;
para4=%f;
vx11(w)=[1,j;nl,jj];
w=w+1;
end
if (eixo1==%t & eixo2==%f) & (para3==%t & para4==%f);
para3=%f;
para4=%f;
vx11(w)=[ii,nc;nl,jj];
w=w+1;
end
j=j+1;
i=i+1;
ifeixo1==%t then
ii=ii+1;
end
ifeixo2==%t;
jj=jj+1;
end
end
endfunction

```

---

/////Algoritmo que "concerta" a imagem/////

```

function[A]=eq(c);
[nlnc]=size(c);
vx11=list();
w=1;
para1=%f;
para2=%f;
para3=%f;
para4=%f;
eixo1=%f;
eixo2=%f;
paratudo=%f;
j=1;
i=2;
ii=1;
jj=1;
while paratudo==%f;
if j>=(nc-1) then
eixo1=%t;
end

```

```

ifi>=(nl-1)then
eixo2=%t;
end
ifii>=(nl-1)jj>=(nc-1);
paratudo=%t;
end
ifeixo1==%f&(c(1,j)==0&c(1,j+1)==255)then
para1=%t;
end
ifeixo2==%f&(c(i,1)==0&c(i+1,1)==255)then
para2=%t;
end
ifpara1==%tthen
j=j-1;
end
ifpara2==%tthen
i=i-1;
end
if(eixo1==%f&eixo2==%f)&(para1==%t&para2==%t)then
para1=%f;
para2=%f;
j=j+1;
i=i+1;
vx11(w)=[1,j,i,1];
w=w+1;
end
ifeixo2==%t&(c(nl,jj)==0&c(nl,jj+1)==255)then
para3=%t
end
ifeixo1==%t&(c(ii,nc)==0&c(ii+1,nc)==255)then
para4=%t;
end
ifpara4==%tthen
ii=ii-1;
end
ifpara3==%tthen
jj=jj-1;
end
if(eixo1==%f&eixo2==%t)&(para1==%t&para3==%t)then
para1=%f;
para3=%f;
j=j+1;
jj=jj+1;
vx11(w)=[1,j,nl,jj];
w=w+1;
end
if(eixo1==%t&eixo2==%f)&(para2==%t&para4==%t)then
para2=%f;
para4=%f;
i=i+1;
ii=ii+1;

```

```

vx11(w)=[i,1;nc,ii];
w=w+1;
end
if(eixo1==%t&eixo2==%t)&(para3==%t&para4==%t);
para3=%f;
para4=%f;
ii=ii+1;
jj=jj+1;
vx11(w)=[ii,nc;nl,jj];
w=w+1;
end
ifeixo2==%fthen
i=i+1;
elseifeixo2==%t;
jj=jj+1;
end
ifeixo1==%fthen;
j=j+1;
elseifeixo1==%t;
ii=ii+1;
end
end
//////////temos o ponto inicial e final das linhas////////
//////////começando a correção////////
//////cria matriz
mat1=[];
i=1;
whilei<=nl://aqui Ã© a quantidade de linhas da matriz
mat1=[mat1;255];//////////No scilab 4.0 no lugar de 255 deve ser 0. No scilab5.?deve continuar
255
i=i+1;
end
j=1
whilej<=nc://aqui Ã© a quantidade de colunas da matriz
mat1=[mat1mat1(:,1)];
j=j+1;
end
//////////
[n11]=size(vx11);
w=1;
whilew<=n11;
para=%f
p1=[vx11(1)(3),vx11(1)(1)];
vd11=[(vx11(1)(4)-vx11(1)(3)),(vx11(1)(2)-vx11(1)(1))]
s1=0;
y1=p1(1,2)+(vd11(1,2)*s1);
whiley1<=nl&para==%f;
p1=[vx11(w)(3),vx11(w)(1)];
vd11=[(vx11(w)(4)-vx11(w)(3)),(vx11(w)(2)-vx11(w)(1))];
x1=round(p1(1,1)+(vd11(1,1)*s1));
y1=round(p1(1,2)+(vd11(1,2)*s1));

```

```

if(x1>=1&x1<=nc)&(y1>=1&y1<=nl)then
mat1(y1,x1)=0;
end
ifx1<1then
para=%t
end
s1=s1+(1/nc);
end
w=w+1;
end
B=mat1;
//////////comparando a matriz a com uma matriz de linhas retas...
//////////formando a matriz de linhas retas...
mat2=[];
i=1;
whilei<=nl;//aqui Ã© a quantidade de linhas da matriz
mat2=[mat2;255];//////////No scilab 4.0 no lugar de 255 deve ser 0. No scilab5.?deve continuar
255
i=i+1;
end
j=1
whilej<nc;//aqui Ã© a quantidade de colunas da matriz
mat2=[mat2mat2(:,1)];
j=j+1;
end
//////////
w=1;
whilew<=n11;
j=1;
whilej<=nl;
mat2(j,vx11(w)(3))=0;
j=j+1;
end
w=w+1;
end
//////////
[l2c2]=size(mat2);
i=1;
conta_linhas=[];
whilei<=l2;
j=1;
contalinhas=0;
whilej<c2;
if(mat1(i,j)==0&mat1(i,j+1)==255)then
contalinhas=contalinhas+1;
end
j=j+1;
end
i=i+1;
conta_linhas=[conta_linhascontalinhas];
end

```

```

vx11=list();
x=1;
i=1;
whilei<=nl;
w=0;
j1=nc;
j2=nc;
para1=%f;
para2=%f;
deltax=[];
whilew<=conta_linhas(i);
ifmat1(i,j1)==0then
para1=%t;
end
ifmat2(i,j2)==0then
para2=%t;
end
ifpara1==%t&para2==%tthen
deltax=[deltax(j2-j1)];
j2=j2-1;
j1=j1-1;
w=w+1;
para1=%f;
para2=%f;
end
ifpara1==%tthen
j1=j1+1;
end
ifpara2==%tthen
j2=j2+1;
end
j1=j1-1;
j2=j2-1;
ifw==contalinhasthen
vx11(x)=deltax;
x=x+1;
w=w+1;
end
end
i=i+1;
end
///// transformando a mat1 em uma matriz branca...
mat1=[];
i=1;
whilei<=nl://aqui Ã© a quantidade de linhas da matriz
mat1=[mat1;255];/////No scilab 4.0 no lugar de 255 deve ser 0. No scilab5.?deve continuar
255
i=i+1;
end
j=1
whilej<nc://aqui Ã© a quantidade de colunas da matriz

```

```

mat1=[mat1mat1(:,1)];
j=j+1;
end
//////////////////////////////////////parte final...
A=[];
i=1;
w=1;
whilei<=nl;
j=nc;
intervalo=0;
t=1;
[xs]=size(vx11(w));
whilej>=1;
ifc(i,j)==0then
intervalo=intervalo+1;
end
ifc(i,j)==255&(intervalo>=4&intervalo<=100)then
whileintervalo>0;
mat1(i,j+intervalo+vx11(w)(t))=0;
intervalo=intervalo-1;
end
end
ift<sthen
t=t+1;
end
end
j=j-1;
end
i=i+1;
w=w+1;
end
//////////completando as linhas quebradas..
i=1;
contalinhas=0;
whilei<=nl;
ifc(i,1)==0&c(i-1,1)==255then
contalinhas=contalinhas+1;
end
i=i+1;
end
para1=%f;
j=1;
cont=0;
whilepara1==%f;
ifmat1(1,j)==0then
fori=1:nl-1;
mat1(i,j)=0;
end
end
ifmat1(1,j)==0&mat1(1,j-1)==255then
cont=cont+1;
end

```

```

ifcont==contalinhasthen
paral=%t;
end
j=j+1;
end
A=matl;
endfunction

```

---

**%Algoritmo para corrigir uma linha da esfera**

```

closeall;
clearall;
clc;

cd '/Users/Elismar/Desktop/Nova pasta (2)';

a = load('esferamoire.txt');% chamando dados digitalizados
a = a/(max(a));           % normalizando os dados
digitalizados
b = load('literatura.txt'); % chamando os dados de
referência
b = b/(max(b));           % normalizando os dados de
referência
c = -250:1:250;
c = c';

subplot(2,1,1)
plot(c,a,'*red','LineWidth',2); % plot da imagem
digitalizada
holdon; grid on;
plot(c,b,'*blue','LineWidth',2);% plot da imagemreferência
xlabel('Comprimento'); ylabel('Altura normalizada');
legend('Moiré','Referência');

subplot(2,1,2)
plot(a(1:250,1),b(1:250,1),'*red','LineWidth',2); %
plot ladoesquerdo
holdon; grid on;
plot(a(251:501,1),b(251:501,1),'*blue','LineWidth',2); %
plot ladodireito
xlabel('Moiré'); ylabel('Referência');
legend('Lado esquerdo','Lado direito',4);

% ajustando equação correção para o lado esquerdo

```

```

reg1 = polyfit(a(1:250,1),b(1:250,1),2);           % polinômio
de grau 2
val1 = polyval(reg1,a(1:250,1));
rquad1 = corrcoef(val1,b(1:250,1));

reg2 = polyfit(a(1:250,1),b(1:250,1),3);           % polinômio
de grau 3
val2 = polyval(reg2,a(1:250,1));
rquad2 = corrcoef(val2,b(1:250,1));

reg3 = polyfit(a(1:250,1),b(1:250,1),4);           % polinômio
de grau 4
val3 = polyval(reg3,a(1:250,1));
rquad3 = corrcoef(val3,b(1:250,1));

reg4 = polyfit(a(1:250,1),b(1:250,1),5);           % polinômio
de grau 5
val4 = polyval(reg4,a(1:250,1));
rquad4 = corrcoef(val4,b(1:250,1));

reg5 = polyfit(a(1:250,1),b(1:250,1),6);           % polinômio
de grau 6
val5 = polyval(reg5,a(1:250,1));
rquad5 = corrcoef(val5,b(1:250,1));

reg6 = polyfit(a(1:250,1),exp(b(1:250,1)),1);      %
logaritmica
val6 = polyval(log(reg6),a(1:250,1));
rquad6 = corrcoef(val6,b(1:250,1));

aux1 = ['2ª ordem      '; '3ª ordem      '; '4ª ordem
'; '5ª ordem      '; '6ª ordem      '; 'Logaritmica    '];
aux2 = zeros(6,1);
aux2(1,1) = rquad1(2,1);
aux2(2,1) = rquad2(2,1);
aux2(3,1) = rquad3(2,1);
aux2(4,1) = rquad4(2,1);
aux2(5,1) = rquad5(2,1);
aux2(6,1) = rquad6(2,1);
aux2 = num2str(aux2,3);
fprintf('LADO ESQUERDO')
R2 = horzcat(aux1,aux2)

% escolha a equação que melhor se ajuste aos seus dados
(lado esquerdo)

```

```

entr = input('Escolha um modelo \n(digite o número
correspondente): \n 1 -> 2ª ordem; \n 2 -> 3ª ordem; \n 3 -
> 4ª ordem; \n 4 -> 5ª ordem; \n 5 -> 6ª ordem; \n 6 -
>Logaritmica \n --> ');

ifentr == 1
eqEsq = reg1;
corrigeEsq = val1;
corrigeDir = polyval(eqEsq,a(251:501,1));
ordemEsq = 'Modelo de 2ª ordem';
elseifentr == 2
eqEsq = reg2;
corrigeEsq = val2;
corrigeDir = polyval(eqEsq,a(251:501,1));
ordemEsq = 'Modelo de 3ª ordem';
elseifentr == 3
eqEsq = reg3;
corrigeEsq = val3;
corrigeDir = polyval(eqEsq,a(251:501,1));
ordemEsq = 'Modelo de 4ª ordem';
elseifentr == 4
eqEsq = reg4;
corrigeEsq = val4;
corrigeDir = polyval(eqEsq,a(251:501,1));
ordemEsq = 'Modelo de 5ª ordem';
elseifentr == 5
eqEsq = reg5;
corrigeEsq = val5;
corrigeDir = polyval(eqEsq,a(251:501,1));
ordemEsq = 'Modelo de 6ª ordem';
elseifentr == 6
eqEsq = reg6;
corrigeEsq = val6;
corrigeDir = polyval(eqEsq,a(251:501,1));
ordemEsq = 'Modelo Logaritmico';
else
error('Opçãoinválida')
end

figure(2)
subplot(3,1,1) % plot ladoesquerdo
plot(c(1:250,1),a(1:250,1),'*red','LineWidth',2);
holdon; grid on;
plot(c(1:250,1),b(1:250,1),'*blue','LineWidth',2);
plot(c(1:250,1),corrigeEsq,'ogreen','LineWidth',2);

```

```

xlabel('Comprimento'); ylabel('Altura normalizada');
title('W Esquerda');
legend('Moiré', 'Referência', 'Corrigida', 4);

subplot(3,1,2) % plot lado direito
plot(c(251:501,1),a(251:501,1),'*red','LineWidth',2);
holdon; grid on;
plot(c(251:501,1),b(251:501,1),'*blue','LineWidth',2);
plot(c(251:501,1),corrDir,'ogreen','LineWidth',2);
xlabel('Comprimento'); ylabel('Altura normalizada');
legend('Moiré', 'Referência', 'Corrigida');

subplot(3,1,3) % plot todo o sinal
plot(c,a,'*red','LineWidth',2);
holdon; grid on;
plot(c,b,'*blue','LineWidth',2);
plot(c,vertcat(corrigEsq,corrDir),'ogreen','LineWidth',2)
;
xlabel('Comprimento'); ylabel('Altura normalizada');
legend('Moiré', 'Referência', 'Corrigida');

clc;

% ajustando equação correção para o lado direito
reg11 = polyfit(a(251:501,1),b(251:501,1),2); %
polinômio de grau 2
val11 = polyval(reg11,a(251:501,1));
rquad11 = corrcoef(val11,b(251:501,1));

reg12 = polyfit(a(251:501,1),b(251:501,1),3); %
polinômio de grau 3
val12 = polyval(reg12,a(251:501,1));
rquad12 = corrcoef(val12,b(251:501,1));

reg13 = polyfit(a(251:501,1),b(251:501,1),4); %
polinômio de grau 4
val13 = polyval(reg13,a(251:501,1));
rquad13 = corrcoef(val13,b(251:501,1));

reg14 = polyfit(a(251:501,1),b(251:501,1),5); %
polinômio de grau 5
val14 = polyval(reg14,a(251:501,1));
rquad14 = corrcoef(val14,b(251:501,1));

```

```

reg15 = polyfit(a(251:501,1),b(251:501,1),6); %
polinômio de grau 6
val15 = polyval(reg15,a(251:501,1));
rquad15 = corrcoef(val15,b(251:501,1));

reg16 = polyfit(a(251:501,1),exp(b(251:501,1)),1); %
logaritmica
val16 = polyval(log(reg16),a(251:501,1));
rquad16 = corrcoef(val16,b(251:501,1));

aux11 = ['2ª ordem      '; '3ª ordem      '; '4ª ordem
'; '5ª ordem      '; '6ª ordem      '; 'Logaritmica  '];
aux12 = zeros(6,1);
aux12(1,1) = rquad11(2,1);
aux12(2,1) = rquad12(2,1);
aux12(3,1) = rquad13(2,1);
aux12(4,1) = rquad14(2,1);
aux12(5,1) = rquad15(2,1);
aux12(6,1) = rquad16(2,1);
aux12 = num2str(aux12,3);
fprintf('LADO DIREITO')
R12 = horzcat(aux11,aux12)

% escolha a equação que melhor se ajuste aos seus dados
(lado direito)
in = input('Escolha um modelo \n(digite o número
correspondente): \n 1 -> 2ª ordem; \n 2 -> 3ª ordem; \n 3 -
> 4ª ordem; \n 4 -> 5ª ordem; \n 5 -> 6ª ordem; \n 6 -
>Logaritmica \n --> ');

if in == 1
eqDir = reg11;
corrigidaDir = val11;
corrigidaEsq = polyval(eqDir,a(1:250,1));
ordemDir = 'Modelo de 2ª ordem';
elseif in == 2
eqDir = reg12;
corrigidaDir = val12;
corrigidaEsq = polyval(eqDir,a(1:250,1));
ordemDir = 'Modelo de 3ª ordem';
elseif in == 3
eqDir = reg13;
corrigidaDir = val13;
corrigidaEsq = polyval(eqDir,a(1:250,1));
ordemDir = 'Modelo de 4ª ordem';
elseif in == 4

```

```

eqDir = regl4;
corrigidaDir = vall4;
corrigidaEsq = polyval(eqDir,a(1:250,1));
ordemDir = 'Modelo de 5ª ordem';
elseif in == 5
eqDir = regl5;
corrigidaDir = vall5;
corrigidaEsq = polyval(eqDir,a(1:250,1));
ordemDir = 'Modelo de 6ª ordem';
elseif in == 6
eqDir = regl6;
corrigidaDir = vall6;
corrigidaEsq = polyval(eqDir,a(1:250,1));
ordemDir = 'Modelo Logaritmico';
else
error('Opção inválida')
end

figure(3)
subplot(3,1,1) % plot ladodireito
plot(c(251:501,1),a(251:501,1),'*red','LineWidth',2);
holdon; grid on;
plot(c(251:501,1),b(251:501,1),'*blue','LineWidth',2);
plot(c(251:501,1),corrigidaDir,'ogreen','LineWidth',2);
xlabel('Comprimento'); ylabel('Altura normalizada');
title('W Direita');
legend('Moiré','Referência','Corrigida');

subplot(3,1,2) % plot lado esquerdo
plot(c(1:250,1),a(1:250,1),'*red','LineWidth',2);
holdon; grid on;
plot(c(1:250,1),b(1:250,1),'*blue','LineWidth',2);
plot(c(1:250,1),corrigidaEsq,'ogreen','LineWidth',2);
xlabel('Comprimento'); ylabel('Altura normalizada');
legend('Moiré','Referência','Corrigida',4);

subplot(3,1,3) % plot todo o sinal
plot(c,a,'*red','LineWidth',2);
holdon; grid on;
plot(c,b,'*blue','LineWidth',2);
plot(c,vertcat(corrigidaEsq,corrigidaDir),'ogreen','LineWid
th',2);
xlabel('Comprimento'); ylabel('Altura normalizada');
legend('Moiré','Referência','Corrigida');

clc;

```

```

figure(4)
plot(c,a,'*red','LineWidth',2); % plot da imagem
digitalizada
hold on; grid on;
plot(c,b,'*blue','LineWidth',2);% plot da imagemreferência
plot(c,vertcat(corrigEsq,corrigidaDir),'ogreen','LineWidth'
,2);
xlabel('Comprimento'); ylabel('Altura normalizada');

legend('Moiré','Referência','Corrigida');

fprintf('EQUAÇÕES DE CORREÇÕES:\n\n 1. LADO ESQUERDO\n ')
ordemEsq
eqEsq
fprintf('\n 2. LADO DIREITO\n')
ordemDir
eqDir
fprintf('\n 3. ÍNDICE DE CORRELAÇÃO\n')
indCorr = corrcoef(b,vertcat(corrigEsq,corrigidaDir));
indCorr(2,1)

% Fim !!!

```

---

%%Algoritmo que converte imagem de pixel em posição(mm)

```

imagem=imread('C:\Users\Elismar\Desktop\p1.jpg'); %colocar
endereço da imagem
[nlnc dim]=size(imagem);
if dim>1;
imagem=rgb2gray(imagem);
end
raio=250; %definir o tamanho do raio
i=1;
    a=[];
while i<=nl;
    j=1;
    linha=[];
    while j<=nc;
        y=double(imagem(i,j));
y1=y*raio/255;
        linha=[linha y1];
        j=j+1;
    end
end

```

```

a=[a;linha];
    i=i+1;
end
%*****AGORA COMEÇA A CORREÇÃO DA IMAGEM
TODA*****
    i=1;
    x=[0:((raio*2)/nc):(raio*2)-((raio*2)/nc)]; %variação no
eixo x. Aqui a quantidade de pontos é de acordo com nc
c=[];
    c=x.^2;
    b=[];
while i<=nl;
if i<=raio;
newraio=sqrt(raio^2-(raio-i)^2);
else
newraio=sqrt(raio^2-(i-raio)^2);
end
y=real(sqrt(newraio^2-(c-(2*x*raio)+raio^2)));
% ajustando equação correção para o lado esquerdo
reg1 = polyfit(a(i,:),y,2);           % polinômio de grau 2
val1 = polyval(reg1,a(i,:));
rquad1 = corrcoef(val1,y);

reg2 = polyfit(a(i,:),y,3);           % polinômio de grau 3
val2 = polyval(reg2,y);
rquad2 = corrcoef(val2,y);

reg3 = polyfit(a(i,:),y,4);           % polinômio de grau 4
val3 = polyval(reg3,a(i,:));
rquad3 = corrcoef(val3,y);

reg4 = polyfit(a(i,:),y,5);           % polinômio de grau 5
val4 = polyval(reg4,a(i,:));
rquad4 = corrcoef(val4,y);

reg5 = polyfit(a(i,:),y,6);           % polinômio de grau 6
val5 = polyval(reg5,a(i,:));
rquad5 = corrcoef(val5,y);

reg6 = polyfit(a(i,:),y,7);           % polinômio de grau 7
val6 = polyval(reg6,a(i,:));
rquad6 = corrcoef(val6,y);

reg7 = polyfit(a(i,:),y,8);           % polinômio de grau 8

```

```

val7 = polyval(reg7,a(i,:));
rquad7 = corrcoef(val7,y);

reg8 = polyfit(a(i,:),y,9);           % polinômio de grau 9
val8 = polyval(reg8,a(i,:));
rquad8 = corrcoef(val8,y);

reg9 = polyfit(a(i,:),y,10);         % polinômio de grau 10
val9 = polyval(reg9,a(i,:));
rquad9 = corrcoef(val9,y);

reg10 = polyfit(a(i,:),exp(y),1);    % logaritmica
val10 = polyval(log(reg10),a(i,:));
rquad10 = corrcoef(val10,y);

aux=[rquad2(1,2) rquad3(1,2) rquad4(1,2) rquad5(1,2)
rquad6(1,2) rquad7(1,2) rquad8(1,2) rquad9(1,2)
rquad10(1,2)];

    j=1;
    dif=1;
    cont=0;
    while j<=9; %9 é o tamanho do vetor aux
        h=abs(aux(j));
        dif2=1-h;
        ifdif>dif2;
        dif=dif2;
        cont=j;
        end
        j=j+1;
    end
    ifcont==1;
    equacao = reg2;
    correcao = val2;
    elseifcont==2;
    equacao = reg3;
    correcao = val3;
    elseifcont==3;
    equacao = reg4;
    correcao = val4;
    elseifcont==4;
    equacao = reg5;
    correcao = val5;
    elseifcont==5;
    equacao = reg6;
    correcao = val6;

```

```

elseifcont==6;
equacao = reg7;
correcao = val7;
elseifcont==7;
equacao = reg8;
correcao = val8;
elseifcont==8;
equacao = reg9;
correcao = val9;
elseifcont==9;
equacao = reg10;
correcao = val10;
end
b=[b;correcao];
i=i+1;
end
cor=255;
    i=1;
    corrigida=[];
    while i<=nl;
    y1=(uint8((b(i,:)*cor)/raio));
    corrigida=[corrigida;y1];
    i=i+1;
    end
    imshow(corrigida);
    imwrite(corrigida,'C:\Users\Elismar\Deskto\16.2.tif');

```

---

%----Algoritmo para identificação do volume da esfera digitalizada com base na real----%

```

a = imread
('C:\Users\Elismar\Desktop\MilímetrosTodosTamanhos\objeto1.
tif');
%a=rgb2gray(a);
[M N ]=size(a);
    a=double(a);
    for i=1:N
    for j=1:M
    a(i,j)=((0/455)*i)-0 + a(i,j);
    a(i,j)=a(i,j)*(25/255);
    end;
    end;
    plot(a(:,230));
    %%identificandoa area
    area=0;

```

```

vol=0;
for i=1:N
for j=1:M
area=(a(i,j)*0.1)+area;
end;
vol=area*0.1 + vol;
area=0;
end;
vol=vol*2;
imshow(a)

```

---

%-----Algoritmo para identificação do volume do fruto de Macaúba-----%

```

a = imread
('C:\Users\Elismar\Desktop\MilímetrosTodosTamanhos\1.1.tif'
);
% a=rgb2gray(a);
[M N]=size(a);
a=double(a);
for i=1:M
for j=1:N
a(i,j)=((63/455)*i)-63 + a(i,j);
a(i,j)=a(i,j)*((44.3/2)/255);
end;
end;
plot(a(230,:));
area=0;
vol=0;
for i=1:M
for j=1:N
area=(a(i,j)*0.1)+area;
end;
vol=area*0.1 + vol;
area=0;
end;
vol=vol*2;
vol=(vol*(0.6545/0.65731));
imshow(a)

```