

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

VINÍCIUS CATÃO DE ARAÚJO

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA A
OBTENÇÃO DA CUBICAGEM DE MADEIRA EM TORAS
EMPILHADAS ATRAVÉS DE IMAGENS DIGITAIS**

Itapeva – SP
2010

VINÍCIUS CATÃO DE ARAÚJO

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA A
OBTENÇÃO DA CUBICAGEM DE MADEIRA EM TORAS
EMPILHADAS ATRAVÉS DE IMAGENS DIGITAIS**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza

A663d Araújo, Vinicius Catão de.
Desenvolvimento de metodologia para a obtenção da cubicagem de madeira em toras empilhadas através de imagens digitais / Vinicius Catão de Araújo. -- Itapeva, 2010.
53 f.; il.

Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial
Madeira apresentado ao Campus Experimental de Itapeva –
UNESP, 2010.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza.
Banca examinadora: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves,
Prof. MsC. Fernando de Lima Caneppele.
Inclui bibliografia

1. Madeira. 2. Madeira - Medição. 3. Processamento de imagens –
técnicas digitais. I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial
Madeira.

CDD 674.1

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA A
OBTENÇÃO DA CUBICAGEM DE MADEIRA EM TORAS
EMPILHADAS ATRAVÉS DE IMAGENS DIGITAIS**

VINÍCIUS CATÃO DE ARAÚJO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi
Coordenador de Curso

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. MsC. Fernando de Lima Caneppele
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Aos meus pais, Valter e Marlene, aos meus irmãos, e a minha namorada Giseli, pelo incentivo e refúgio nos distintos momentos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos.

Aos meus pais Valter e Marlene por todo o incentivo e carinho dado em todos os momentos.

Aos meus irmãos pelo incentivo sempre dado nos momentos mais oportunos.

A minha namorada Giseli, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos e decisões.

Ao professor Alexandre Jorge Duarte de Souza pela oportunidade de me orientar neste trabalho, e sempre auxiliar em todas as dúvidas que surgiam pelo caminho.

A todos os meus amigos, que apesar da distância sempre tivemos momentos especiais.

A todas as amizades feitas durante todo o curso, que elas durem por toda a vida.

A todos os professores pelos ensinamentos que levarei por toda minha vida.

A Universidade Estadual Paulista, campus de Itapeva, pela oportunidade da graduação.

Agradeço a todos que me ajudaram direto ou indiretamente para o desenvolvimento deste projeto. Muito obrigado.

*"O que prevemos raramente ocorre; o que
menos esperamos geralmente acontece."
Benjamin Disraeli*

RESUMO

A obtenção de estimativas precisas dos volumes de madeira empilhada é importante em virtude do crescente valor da madeira como matéria prima. Portanto, as empresas florestais vêm se preocupando mais com os métodos atualmente utilizados para a conversão de metro estéreo para metro cúbico. Nesse contexto, surgiu a necessidade da otimização do processo de medição e da acuracidade do volume de madeira empilhada. Para isso, as empresas têm testado métodos com maior eficiência, rapidez e baixo custo operacional. Os métodos existentes feitos através de equações aproximativas, e também através da determinação do fator de conversão, denominado fator de empilhamento (Fe), são questionados, devidos a erros e imprecisões. A utilização de fotografias digitais é um método alternativo que minimizaria a intervenção do operador, possibilitando um maior controle e rapidez do processo, além de eliminar parte da imprecisão do método tradicional. A utilização do método se mostrou viável, apresentando um erro de aproximadamente 10%, enquanto o método tradicional apresentou um erro de 17%.

Palavras-chave: Fator de empilhamento; volume empilhado; madeira; fotografias digitais; estéreo; metro cúbico

ABSTRACT

Obtaining accurate estimates of the volume of stacked wood is important in view of the increasing value of wood as raw material. Therefore, the forest companies have become increasingly concerned about the methods currently used to convert cubic meters for stereo. In this context, emerged the need of optimizing the measurement process and accuracy of the volume of stacked wood. For this, companies have been testing methods with greater efficiency, speed and low operating cost. Existing methods made through approximate equations, and also by determining the conversion factor, called the stacking factor (F_e), are questioned, due to errors and inaccuracies. The use of digital photographs is an alternative method that would minimize operator intervention, allowing greater control and speed the process, thus eliminating part of the imprecision of the traditional method. The use of the method is viable, due to present an error of about 10% while traditional methods showed an error of 17%.

Keywords: Factor stacked, stacked volume, wood, digital photographs, stereo; cubic meter

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Volume da pilha de madeira.....	18
Figura 2 – Exemplo de problema tipo “gaiola” em uma pilha de madeira	20
Figura 3 – Detalhe da “gaiola”	21
Figura 4 – Definição da fórmula de Smalian.....	22
Figura 5 – Xilômetro	24
Figura 6 – Passos fundamentais em processamento de imagens digitais.	26
Figura 7 – Distorção “Barril”	31
Figura 8 – Distorção “Pincushion”	31
Figura 9 – Pilha de madeira em toras	32
Figura 10 – Local do experimento	33
Figura 11 – Informações sobre o software ImageJ	34
Figura 12 – Chapa de MDF utilizada na calibração.....	35
Figura 13 – Quadrículas da chapa realçadas pelo software	36
Figura 14 – Painel com os pontos marcados	36
Figura 15 – Resultado após processamento da imagem.	37
Figura 16 – Colocação dos gabaritos na pilha	38
Figura 17 – Imagem da extremidade da pilha de madeira	40
Figura 18 – Imagem centralizada da pilha de madeira.....	40
Figura 19 – Imagem da extremidade da pilha de madeira	40
Figura 20 – Imagem gerada com as três imagens originais da pilha de madeira.....	41
Figura 21 – Imagem original da pilha de madeira	41
Figura 22 – Comando para conversão da imagem em tons de cinza	42
Figura 23 – Imagem convertida para tons de cinza.....	42
Figura 24 – Separação do fundo da imagem	43
Figura 25 – Exemplo de imagem após a aplicação do comando threshold	44
Figura 26 – Imagem gerada após a análise de partículas.....	44
Figura 27 – Detalhe das partículas analisadas.....	45
Figura 28 – Resultados obtidos.....	45
Figura 29 – Gráfico da distorção encontrada.	47
Figura 30 – Lado 1 da pilha de madeira.....	48
Figura 31 – Lado 2 da pilha de madeira.....	48

Figura 32 – Resultado do lado 1 após processamento	49
Figura 33 – Resultado do lado 2 após processamento	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado da calibração	44
Tabela 2 – Resultados das medições	47
Tabela 3 – Diferenças dos resultados obtidos	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1. Volume de madeira empilhada.....	17
3.2. Fatores que afetam o empilhamento da madeira.....	18
3.3. Volume sólido da madeira.....	21
3.3.1. Métodos diretos.....	21
3.3.1.1. Equações aproximativas	21
3.3.1.2. Xilômetro	23
3.3.1.3. Relação entre peso e densidade	24
3.3.2. Métodos indiretos	24
3.3.2.1. Fator de empilhamento.....	24
3.4. Processamento de imagens.....	25
3.4.1. Representação de imagens digitais.....	26
3.4.2. Passos para o processamento de imagens.....	26
3.5. Câmera digital	28
4. MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1. Local do experimento	33
4.2. Software ImageJ	33
4.3. Calibração do equipamento.....	34
4.5 Materiais utilizados.....	39
4.6. Etapas para o processamento das imagens	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1. Calibração	46
5.2. Medição.....	47
6. CONCLUSÃO.....	51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1. INTRODUÇÃO

A dendrometria pode ser conceituada como um ramo da Ciência Florestal que se encarrega da determinação ou estimação dos recursos florestais, podendo ser da própria árvore ou até mesmo do povoamento inteiro, e tem como principal finalidade a mensuração com precisão do volume, incremento ou a produção de um determinado recurso florestal. Também pode ser definida de uma forma mais simples, como sendo a necessidade do homem estimar ou quantificar os recursos florestais que possuíam (SILVA, 1979).

O termo CUBAGEM ou CUBICAGEM é utilizado para definir o cálculo do volume da tora de uma árvore, de uma pilha ou até mesmo de todo o povoamento, podendo ser utilizados métodos de medição direta, como as expressões que representam as formas dos troncos, métodos indiretos, principalmente o fator de empilhamento, e também estimativas através de equações.

O comércio da madeira em toras somente é possível quando se conhece o volume do lote, assim como também é necessário conhecer o volume das árvores em pé em um determinado povoamento, para que facilite os planos de corte, e também o destino final dessas toras, pois devido às variações de diâmetro o destino final desse produto será diferente.

A obtenção de estimativas precisas de volumes de madeira é sempre importante em virtude da crescente valorização da madeira como matéria-prima e como produto (AHRENS, 1982). Devido a essa necessidade de se conhecer o volume real, principalmente pela crescente valorização do produto madeira, existem os chamados inventários florestais, que tem como principal objetivo fornecer estimativas e dados sobre o volume desse produto em um determinado lote ou povoamento. A floresta quando já foi explorada, as estimativas são baseadas nas pilhas de madeira no campo, nos caminhões ou nos pátios das fábricas, obtendo-se assim, volume em metro cúbico e estéreo (BERTOLA, 2002).

As empresas florestais vêm se preocupando com uma correta medição do volume da madeira empilhada (estéreo) e sua conversão para metro cúbico, pois é utilizado para a conversão da madeira em produtos como carvão e celulose, assim, as estimativas de volume com baixa precisão, obtidas de pilhas de madeira, quase

sempre podem gerar resultados imprecisos, causando prejuízos econômicos tanto para empresas quanto para os prestadores de serviço (BERTOLA, 2002). Outro fator importante é que o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO, 1999) publicou através da portaria n.º 130 de 07/12/1999 que, a unidade de medida estéreo foi abolida em 31 de dezembro de 2009, pois o Sistema Internacional de Unidades (S. I) não inclui essa unidade de medida.

Diante destas circunstâncias, e em busca da otimização do processo e das estimativas do volume de madeira, as empresas têm testado métodos que possibilitem uma máxima precisão possível nas determinações de volume e que envolvam rapidez e baixo custo operacional, pois com os métodos existentes que ainda se utilizam da unidade de medida “estéreo” estão sendo bastante questionados, principalmente devido a uma aparente imprecisão causada por fatores como: diferentes sistemas de empilhamento (manual ou mecânico), tipo de transporte e a dificuldade em se atribuir correções (descontos) para cargas mal empilhadas (BERTOLA, 2002).

O método mais simples de estimar/calcular o volume de pilhas de madeira em metro cúbico (volume sólido) é utilizar um fator de conversão, denominado fator de empilhamento. Basicamente o volume sólido é obtido a partir do volume em estéreo, descontando o espaço vazio entre as toras que constituem a pilha (SILVA, 2003).

Levando-se em consideração alguns problemas no empilhamento que influenciam em erros na conversão para metro cúbico nos métodos manuais, surge a necessidade de sistema automatizado para essa tarefa. Um sistema de análise de imagens digitais pode ser um novo método a ser testado, pois minimizaria a intervenção do operador, automatizando o processo de medição, possibilitando um maior controle e rapidez na medição de amostras (SILVA, 2003).

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo o desenvolvimento da metodologia para a obtenção da cubicagem de madeira empilhada com minimização de erros. Avaliar o método, com a utilização de imagens obtidas com uma câmera digital e de um software editor de imagens, e através do processamento digital dessas imagens, quantificar o volume sólido da pilha de madeira.

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Determinar o volume de madeira empilhada através de imagens digitais;
- Comparação do volume obtido com o resultado da medição manual rigorosa;
- Comparação do resultado obtido com as estimativas da empresa utilizando o método tradicional.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O "estéreo" é uma medida de volume utilizado geralmente por empresas que possuem o estoque de madeira empilhada, e que corresponde a um metro cúbico (1m^3). A utilização como unidade de volume no entanto não foi tão usada como a do Litro, e na Europa é tradicionalmente utilizada para a medição de madeira empilhada para lenha.

O estéreo não é a única unidade de medida criada com a finalidade de medição de madeira empilhada. O comércio de madeiras nos Estados Unidos da América utiliza da unidade "cord", que representa uma pilha de madeira com dimensões de 4 pés de largura por 8 pés de comprimento por 4 pés de altura, num total de 128 pés cúbicos (HUSTCH et al, 1972)

No Brasil, a unidade "estéreo" é utilizada há muito tempo para a comercialização de lenha, e também é utilizado há mais de 40 anos quando houve o início do comércio de madeira de eucalipto com finalidade industrial. Hoje, essa unidade é utilizada basicamente para todo tipo de comércio de madeira, desde as toras usadas por indústrias de grande porte até a lenha para pequenos comerciantes. Mas, a unidade "estéreo" não faz parte do Sistema Internacional (SI) de unidades e medidas, que é um tratado internacional ao qual o Brasil subscreve, assim, o estéreo não faz parte do sistema de unidades e medidas oficial e legal do Brasil.

A unidade de medida estéreo não restringe nenhuma dimensão da pilha, sendo feita a rápida medição e visualização do volume de madeira no campo, após a derrubada das árvores. Definitivamente esses são os principais motivos da utilização dessa unidade no meio florestal.

3.1. Volume de madeira empilhada

A obtenção do volume de madeira de uma pilha por meio da multiplicação das suas dimensões define o chamado volume em estéreo, que segundo o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO, 1999), é o volume de uma pilha de madeira, contida num cubo cujas arestas meçam um metro

(1,0 m x 1,0 m x 1,0 m). Nele estão incluídos os espaços vazios normais entre as toras, sendo estes espaços presentes numa pilha de toras acomodados uns aos outros longitudinalmente. Segundo a Portaria do INMETRO, n.º 130, de 07/12/99, o volume sólido de uma pilha de madeira, deve ser feita pela somatória dos volumes de cada tora, ou por meio de fatores de conversão, chamado de fator de empilhamento.

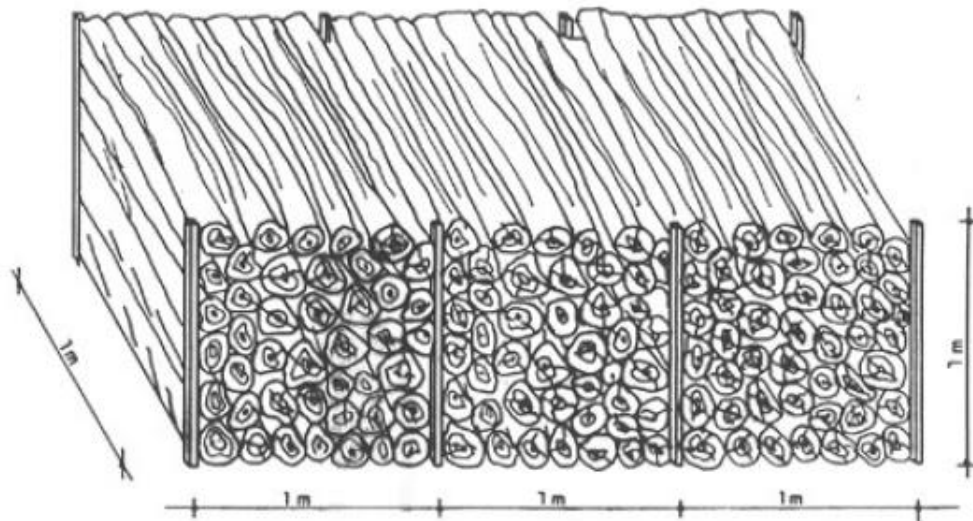


Figura 1 – Volume da pilha de madeira. Fonte: SILVA (2003)

3.2. Fatores que afetam o empilhamento da madeira

A utilização dos fatores de conversão não teria problemas se a cada comercialização esses fatores pudessem ser determinados diretamente no material a ser comercializado, ou seja, para cada pilha de madeira comercializada fosse calculado o seu fator de conversão. Apesar de ser uma melhor prática, um problema seria o aumento nos custos de mensuração, em comparação com a utilização de fatores médios, que são os mais utilizados para esse tipo de atividade, onde somente é necessário a medição das dimensões da pilha.

Segundo Torquato (1983) e Carrilo et al. (1985) as principais fontes de variação no fator de empilhamento são:

- rachadura,
- teor de umidade das peças,
- altura da pilha,

- comprimento das toras,
- diâmetro das toras,
- método de empilhamento (mecânico ou manual),
- presença dos tocos dos ramos nas toras,
- conicidade ou forma do tronco,
- tortuosidade e defeitos do tronco,
- toras com casca ou sem casca.

Esses fatores fazem com que ocorram grandes variações no fator de empilhamento, ocasionando em grandes erros na estimativa do volume empilhado quando se realiza um inventário florestal.

De acordo com Belyea (1946), um metro cúbico de madeira de coníferas apresenta em média cerca de 3% a mais de madeira sólida do que um metro cúbico de madeira de folhosas.

Cailliez (1980) afirma que o fator de empilhamento pode variar de 1,25 a 2,22 e que pode ocasionar erros de até 78% na estimativa final. Estudos realizados por Torquato (1983) mostram a influência do comprimento das peças e do sistema de empilhamento (mecânico ou manual) no fator de empilhamento. As variações chegam a 58% no resultado final do volume de madeira empilhada.

Carrillo et al.(1985) encontraram diferenças-significativas entre o fator de empilhamento de diferentes classes de diâmetro. As diferenças chegam a 64% quando se usa um fator de empilhamento inadequado para cada classe de diâmetro.

O volume sólido de madeira empilhada também é influenciado pela forma de empilhamento das toras, levando em consideração a seleção dos diâmetros e do comprimento destas (KEEPERS, 1945). O empilhamento mal realizado tende a reduzir o número de toras acondicionadas na pilha e, ao mesmo tempo, reduzir o volume sólido de madeira, dificultando assim, qualquer relação entre o volume e o número de toras, por unidade de medida empilhada

Um outro grande problema muito comum no empilhamento de madeira é camado de “gaiola”. Para a determinação do volume da madeira empilhada sempre se imagina que o empilhamento é feito de forma adequada, levando sempre em conta que também envolve vários lotes de madeira, e não somente aquele onde é feito a medição, para que todas as pilhas de madeira tenham as condições semelhantes.

Quando há a ocorrência de “gaiolas” no empilhamento da madeira, acarreta em um excesso de espaços vazios entre as toras, fazendo com que a venda desse lote de madeira sofra uma diminuição no preço ou utilizar uma correção no fator de empilhamento utilizado. No entanto, é muito difícil e oneroso definir um método, pois existem várias condições que podem influenciar nesse tipo de problema. As Figuras 2 e 3 exemplificam esse tipo de problema.



Figura 2 – Exemplo de problema tipo “gaiola” em uma pilha de madeira



Figura 3 – Detalhe da “gaiola”

3.3. Volume sólido da madeira

3.3.1. Métodos diretos

O volume sólido das toras pode ser determinado através de equações aproximativas, pela relação peso densidade, e pelo uso de xilômetro (REZENDE, 1988). O volume sólido empilhado é calculado através da somatória dos volumes individuais de cada tora.

3.3.1.1. Equações aproximativas

As equações desenvolvidas são aproximações de figuras geométricas, pois os troncos de muitas espécies de árvores apresentam formas semelhantes a algum sólido geométrico definido – os protótipos dendrométricos (LOETSCH & ZÖHRER, 1973).

Na verdade, os troncos das árvores nunca se identificam com um único protótipo dendrométrico, pois num mesmo tronco podem ocorrer várias formas, além disso, a transição de uma forma para outra não pode ser exatamente determinada no tronco (LOETSCH & ZÖHRER, 1973).

Para isso foram desenvolvidas expressões que representam as formas dos troncos de uma maneira mais apropriada. As três expressões mais conhecidas são: Huber, Smalian e Newton, as quais determinam a área seccional média da seção de diferentes maneiras.

- Huber:

Quando o diâmetro é tirado na metade do comprimento da tora ($d_{0,5}$) e o volume é calculado como se a tora fosse um cilindro. A diferença para menos na parte superior é compensada pela diferença a mais na parte inferior.

$$V = d^2 \times (\pi / 4) \times h \quad (1)$$

Onde:

$$g_m = d^2 \times (\pi / 4) \quad (2)$$

O volume calculado desta forma é relativamente exato se a forma aproxima-se de um cilindro, porém os erros podem ser consideráveis e os volumes podem ser subestimados para as outras formas de tronco.

- SMALIAN

A fórmula de Smalian considera o diâmetro da base e do topo. Depende muito do diâmetro da forma das extremidades da tora, muitas vezes a influência da base é maior e assim ocorre uma superestimativa do volume.

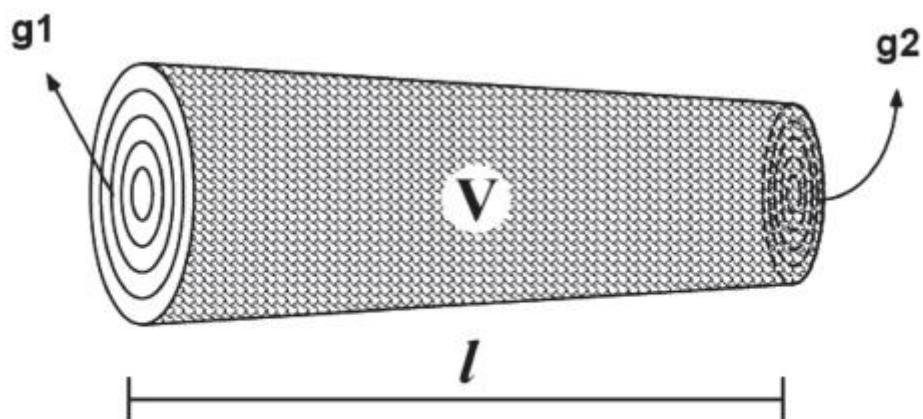


Figura 4 – Definição da fórmula de Smalian

$$V_i = \left[\frac{(gi + gs)}{2} \right] . L \quad (3)$$

É a mais utilizada para pequenas toras, por causa de sua maior facilidade e rapidez na tomada dos volumes individuais de cada tora (HUSCH et al, 1972).

- NEWTON

Esta fórmula equilibra os erros das anteriores porque atribui peso maior ao diâmetro do meio da tora (peso 4):

$$V_i = \left[\frac{(gi + 4gm + gs)}{6} \right] . L \quad (4)$$

3.3.1.2. Xilômetro

O xilômetro consiste em um tubo cilíndrico de mais ou menos 1,8 m de altura e diâmetro entre 50 a 60 cm (Figura 5). A forma de operar é a seguinte: coloca-se água no xilômetro até a água coincidir com a graduação zero do tubo de vidro. A cada acréscimo de água, a mudança no nível indica no tubo colocado ao lado do tambor, um novo volume (SCOLFORO & FILHO, 1992). Depois vai se colocando parte do tronco da árvore no mesmo, o que causa uma elevação no nível d'água, que serve para o cálculo do volume do material submerso, pois o xilômetro é cilíndrico perfeito e as divisões no tubo de vidro correspondem ao volume de decímetro cúbico.

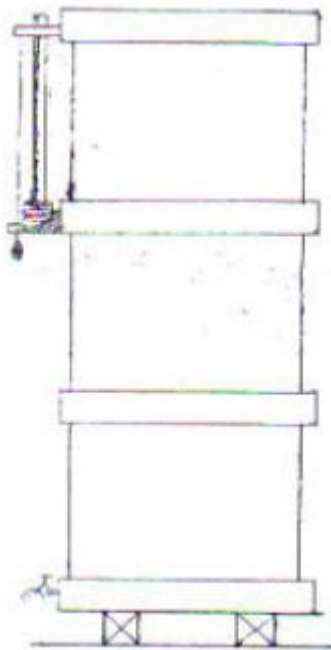


Figura 5 – Xilômetro. Fonte: SILVA (2003)

3.3.1.3. Relação entre peso e densidade

Segundo BERTOLA (2002), este método consiste em pesar cada tora, e, com o conhecimento da densidade e do teor de umidade, o volume úmido das toras pode ser obtido pela seguinte expressão:

$VU = PS/DBM$ sendo:

$PS = PU - (PU \cdot TU)$

Onde:

VU = volume úmido da tora, em m^3 ;

PS = peso seco da tora, em Kg;

DBM = densidade básica média, em Kg/m^3 ;

PU = peso úmido da tora, em Kg;

TU = teor de umidade.

3.3.2. Métodos indiretos

3.3.2.1. Fator de empilhamento

O volume sólido de madeira de uma pilha é obtido a partir do volume em estéreo pelo desconto de todos os espaços vazios existentes entre as toras de

madeira que constituem a carga (CARVALHO et al., 1993 apud SILVA, 2003). Este fator de conversão é denominado “fator de empilhamento (Fe)”, dado por:

$$Fe = \frac{Volume.Sólido(m^3)}{Volume.Empilhado(st)} \leq 1,0 \quad (5)$$

ou

$$Fe = \frac{Volume.Empilhado(st)}{Volume.Sólido(m^3)} \geq 1,0 \quad (6)$$

O fator de empilhamento pode ser determinado com ou sem casca.

3.4. Processamento de imagens

Processamento de imagem é qualquer forma de processamento de dados no qual a entrada e saída são imagens tais como fotografias ou quadros de vídeo. Ao contrário do tratamento de imagens, que preocupa-se somente na manipulação de figuras para sua representação final, o processamento de imagens é um estágio para novos processamentos de dados tais como aprendizagem de máquina ou reconhecimento de padrões. A maioria das técnicas envolve o tratamento da imagem como um sinal bi-dimensional, no qual são aplicados padrões de processamento de sinal.

Técnicas de processamento de imagens são utilizadas para resolver uma gama de problemas, como por exemplo, na medicina, onde esses processamentos melhoram o contraste para facilitar a interpretação de imagens de raios X (GONZALEZ & WOODS, 1992).

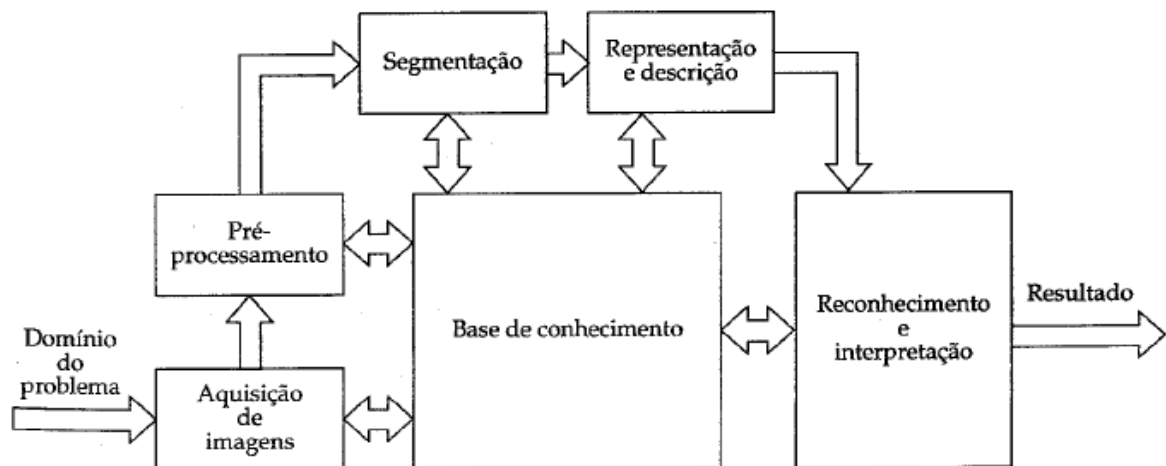


Figura 6 – Passos fundamentais em processamento de imagens digitais. Fonte: Gonzalez & Woods (1992).

3.4.1. Representação de imagens digitais

O termo imagem refere-se a função bidimensional de intensidade de luz $f(x,y)$, onde x e y são as coordenadas espaciais e o valor de f em qualquer ponto (x,y) é proporcional ao brilho(níveis de cinza) da imagem naquele ponto (GONZALEZ & WOODS, 1992).

A imagem digital pode ser entendida como uma matriz cujos índices de linhas e colunas mostram um ponto na imagem, e o correspondente valor do elemento da matriz indica o nível de cinza naquele ponto (GONZALEZ & WOODS, 1992).

3.4.2. Passos para o processamento de imagens

Segundo GONZALEZ & WOODS (1992), algumas etapas são necessárias no processamento de imagens. São elas:

- Aquisição da imagem;
- Pré-processamento;
- Segmentação;
- Representação e descrição;
- Reconhecimento e interpretação.

Aquisição da imagem

A primeira etapa do processo para o processamento de imagens é a aquisição, sendo para isso a utilização de dispositivos físicos para a captação da imagem e o equipamento para a digitalização, isto é, converter o sinal elétrico para o formato digital. O equipamento mais conhecido para essa utilização é a câmera digital.

Pré-processamento

Depois da aquisição da imagem ser concluída, é necessário realizar o pré-processamento dessa imagem, sendo que o principal objetivo é melhorar a imagem para que aumente as chances para o sucesso dos processos seguintes (GONZALEZ & WOODS, 1992). O pré-processamento utiliza de técnicas que podem diminuir a presença de pixels ruidosos, realçarem contrastes e diminuir o borrado nas imagens. Após esta etapa, a imagem digitalizada resultante é de melhor qualidade do que a original.

Segmentação

Em visão computacional, segmentação se refere ao processo de dividir uma imagem digital em múltiplas regiões (conjunto de pixels) ou objetos, com o objetivo de simplificar e/ou mudar a representação de uma imagem para facilitar a sua análise (GONZALEZ & WOODS, 1992). Segmentação de imagens é tipicamente usada para localizar objetos e formas (linhas, curvas, etc) em imagens.

O resultado da segmentação de imagens é um conjunto de regiões/objetos ou um conjunto de contornos extraídos da imagem. Como resultado, cada um dos pixels em uma mesma região é similar com referência a alguma característica ou propriedade computacional, tais como cor, intensidade, textura ou continuidade. Regiões adjacentes devem possuir diferenças significativas com respeito a mesma característica(s).

Vários algoritmos e técnicas de segmentação de imagens foram desenvolvidos, não havendo porém uma solução geral para este problema. Muitas vezes para a resolução de um problema de segmentação de imagem é necessário a

combinação das técnicas de modo à sua adaptação ao domínio do problema (GONZALEZ & WOODS, 1992).

3.5. Câmera digital

Nos últimos 20 anos, a maioria das grandes inovações tecnológicas nos produtos eletrônicos fez parte de um mesmo processo básico: a conversão de informações analógicas convencionais (representadas por uma onda variável) em informações digitais (representadas por uns (1s) e zeros, ou bits) (THALES, 2003).

A câmera digital é um dos exemplos dessa mudança porque é bem diferente de sua predecessora. As câmeras convencionais dependem totalmente de processos químicos e mecânicos: você nem precisa de eletricidade para utilizá-las. Por outro lado, todas as câmeras digitais possuem um computador embutido e todas elas registram imagens eletronicamente (THALES, 2003). Diante disso, as câmeras digitais se tornam cada vez mais populares a medida que a tecnologia avança.

Ao invés de utilizar a película fotossensível (filme) para o registro das imagens, que requer, posteriormente à aquisição das imagens, um processo de revelação e ampliação das cópias, a câmera digital registra as imagens através de um sensor que entre outros tipos podem ser do tipo CMOS ou do tipo CCD, armazenando as imagens em cartões de memória. Uma câmera pode suportar um só ou vários tipos de memória, sendo os mais comuns: CompactFlash tipos I e II, SmartMedia, MMC e Memory Stick e SD (estes, os dois mais usados) (THALES, 2003).

Uma das características mais exploradas pelos fabricantes de câmeras digitais é a resolução do sensor da câmera, medida em megapixels. Em teoria, quanto maior a quantidade de megapixels, melhor a qualidade da foto gerada, pois o seu tamanho será maior e permitirá mais zoom e ampliações sem perda de qualidade (THALES, 2003). Entretanto, a qualidade da foto digital não depende somente da resolução em megapixels, mas de todo o conjunto que forma a câmera digital. Os fatores que mais influenciam a qualidade das fotos/vídeos são a qualidade das lentes da objetiva, o algoritmo (software interno da câmera que processa os dados capturados) e os recursos que o fotógrafo pode usar para um melhor resultado, ou até mesmo eventuais efeitos especiais na foto (THALES, 2003). No entanto, dependendo do uso que será dado à fotografia, um número

excessivo de megapixels não trará benefício adicional à qualidade da imagem e onerará o custo do equipamento.

Geralmente, as câmeras voltadas ao uso profissional são providas de maior quantidade de megapixels, o que lhes permite fazer grandes ampliações. Já para o usuário amador, máquinas com resolução entre três e cinco megapixels geram excelentes resultados.

3.5.1. Tipos de lentes para câmeras

A lente é uma das partes mais importantes da câmera fotográfica. É um dispositivo óptico composto por um conjunto de lentes utilizado no processo de focalização ou ajuste do foco da cena a ser fotografada (THALES, 2003). A lente é responsável pela angulação do enquadramento e pela qualidade óptica da imagem. As lentes das câmeras fotográficas podem ser divididas em alguns grupos que são caracterizados essencialmente pela distância focal de que são capazes. Esse número pode variar normalmente entre os 35mm e 200mm. A distância focal resulta da medida em milímetros entre o pano do filme e o ponto onde a imagem é invertida depois de entrar na câmera escura (THALES, 2003).

Cada grupo refere as suas características relativamente à sua aplicação; distorção causada na imagem final e dimensão relativa da imagem final.

O poder de resolução das lentes é um aspecto importante e é definido como a medida da capacidade da lente em separar detalhes pequenos e próximos uns dos outros ou objetos de maior ou menor nitidez (THALES, 2003). As lentes, por não serem perfeitas, produzem uma imagem imprecisa, e, tais defeitos da imagem recebem o nome de aberrações, sendo que a combinação de lentes e de alguns elementos adicionais podem minimizar estes defeitos. Entre eles:

- aberração esférica;
- coma ;
- astigmatismo ou curvatura de campo;
- aberração cromática;
- distorção radial;
- distorção tangencial.

As quatro primeiras aberrações prejudicam a nitidez da imagem fotográfica (círculo de confusão), enquanto que as distorções prejudicam a geometria (posição) dos objetos na imagem, e que são de interesse das pesquisas.

3.5.2. Distorções

Distorções pertencem as chamadas aberrações ópticas, deficiências que causam a degradação da imagem final. Ao contrário de outras aberrações, distorções não afetam qualidade da imagem, mas tem um impacto significativo sobre a geometria da imagem. Existem dois tipos de distorções, a distorção radial e distorção tangencial. No entanto, apenas a distorção radial tem uma influência significativa sobre a geometria da imagem. A distorção tangencial geralmente é insignificante e não é incluído na processo de correção da distorção (JEDLIČKA, 2005).

Como mencionado anteriormente, a distorção radial é uma deficiência que ocorre sobre a geometria da imagem. Há dois tipos principais de distorção radial. O primeiro é um deslocamento negativo também chamado de distorção barril (Figura 7). A distorção barril ocorre quando os pontos são movidos a partir de sua posição correta para o centro da imagem (JEDLIČKA, 2005). O segundo tipo de distorção radial é um deslocamento positivo, que ocorre quando pontos são deslocadas para longe do eixo óptico (Figura 8). Esse tipo também é chamado de distorção pincushion. A distorção de barril é comum para lentes grande angular e distorção pincushion para lentes de ângulo estreito.

A distorção radial geralmente não é perfeitamente simétrica, mas através de um cálculo de distorção pode ser assumido como simétrico. Se a imagem deve ser utilizado para a medição de distâncias, a distorção radial das lentes deve ser simétrica (ou pelo menos quase simétrica). Se não for, a correção de distorção simétrica pode causar erros no posicionamento de alguns pontos (WALREE, 2010).

Devido à presunção de sua simetria de rotação, A distorção radial sobre uma imagem pode ser apresentado como uma curva geral que descreve uma dependência entre a distância radial do centro da imagem radial e distorção (JEDLIČKA, 2005). Como uma função de distorção subjacentes geralmente não é

conhecida e não pode ser obtidos por meio de análise, a aproximação polinomial da função de distorção radial é utilizada.

Nos dias de hoje o uso de câmeras não métricas é cada vez mais popular devido ao seu baixo custo e fácil manipulação. Em caso de câmera não-métrica, a calibração deve ser realizada antes de sua utilização em aplicações de fotogrametria (THALES, 2003). O relatório de calibração da câmera contém informações necessárias sobre os parâmetros internos da câmera, incluindo a distorção radial. A calibração é baseado na medição de pontos de controle. As diferenças entre os valores esperado e real são usados para a construção de um gráfico, para a determinação da distorção radial. Quando o valor da distorção é conhecida, ele pode ser usado para a correção da distorção radial em uma imagem.

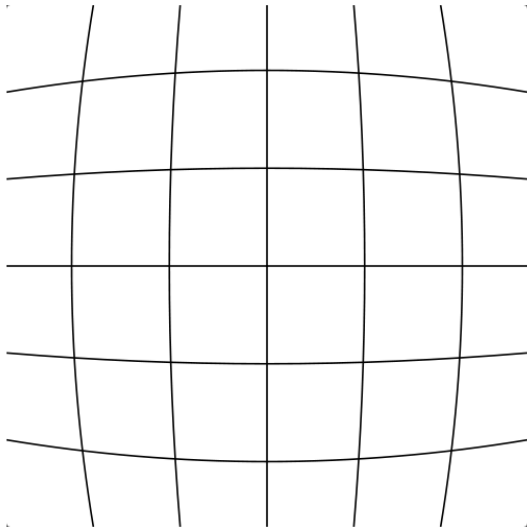


Figura 7 – Distorção “Barril”

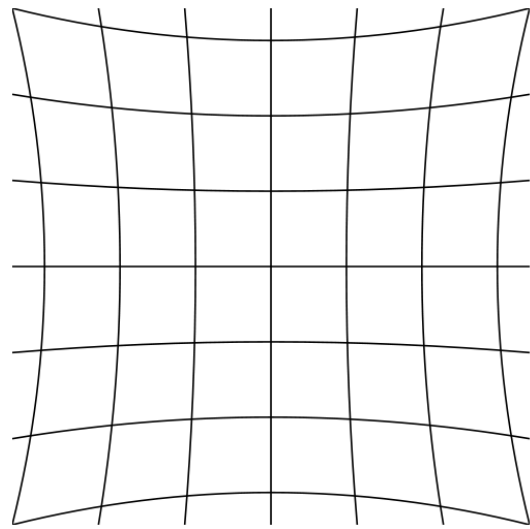


Figura 8 – Distorção “Pincushion”

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foi utilizada como equipamentos uma câmera digital, um tripé e um software, denominado ImageJ, que será utilizado para os devidos processamentos da imagem digital. Também foram usados gabaritos de madeira, com sua dimensão conhecida. Os gabaritos serviram para ser colocados em diferentes lugares nas pilhas de madeira, assim, podendo comparar com os diâmetros das toras.

A fotografia será obtida perpendicularmente à face da pilha de madeira, como na Figura 9, e as áreas dos topos das toras serão extraídas dessas imagens.



Figura 9 – Pilha de madeira em toras

A cubagem rigorosa será obtida com a utilização da fórmula de Smalian (Equação 3).

4.1. Local do experimento

O experimento foi realizado em uma serraria próxima da cidade de Itapeva – SP, na estrada que liga Itapeva a Ribeirão Branco.



Figura 10 – Local do experimento

4.2. Software ImageJ

O ImageJ é um software para processamento e análise de imagens, desenvolvido por Wayne Rasband no National Institute of Health, USA. em Java. Com ele é possível realizar várias tarefas de processamento e análise de imagens. Este software é de domínio público e está disponível em <http://rsb.info.nih.gov/ij/>. Os principais softwares líderes de mercado neste segmento são proprietários, e chegam a custar cifras na casa de milhares de dólares. Devido a essa situação, para o experimento em questão, foi decidido o uso do software ImageJ, sendo uma excelente opção disponível, por ser gratuito, e mesmo assim, é referenciado por especialistas na área como de excelente qualidade, não perdendo em capacidade para softwares proprietários nas características fundamentais para este estudo. No programa existem ferramentas de ajuste de brilho e contraste, ferramentas de segmentação e análise, que são utilizadas no trabalho em questão, bem como ferramentas de medição de distâncias, entre outras.

O software de processamento de imagens ImageJ tem uso intensivo em centros de pesquisa para análises na área de microscopia quantitativa e que analogamente faz uso de imagens digitais. Imagens estas que são plenamente

compatíveis com as obtidas por esse estudo, seja pela qualidade, pela resolução ou pelos tipos de sensores ópticos de captura.

A Figura 11 mostra uma tela de apresentação com as informações básicas do referido programa e a corrente versão utilizada para esta pesquisa.

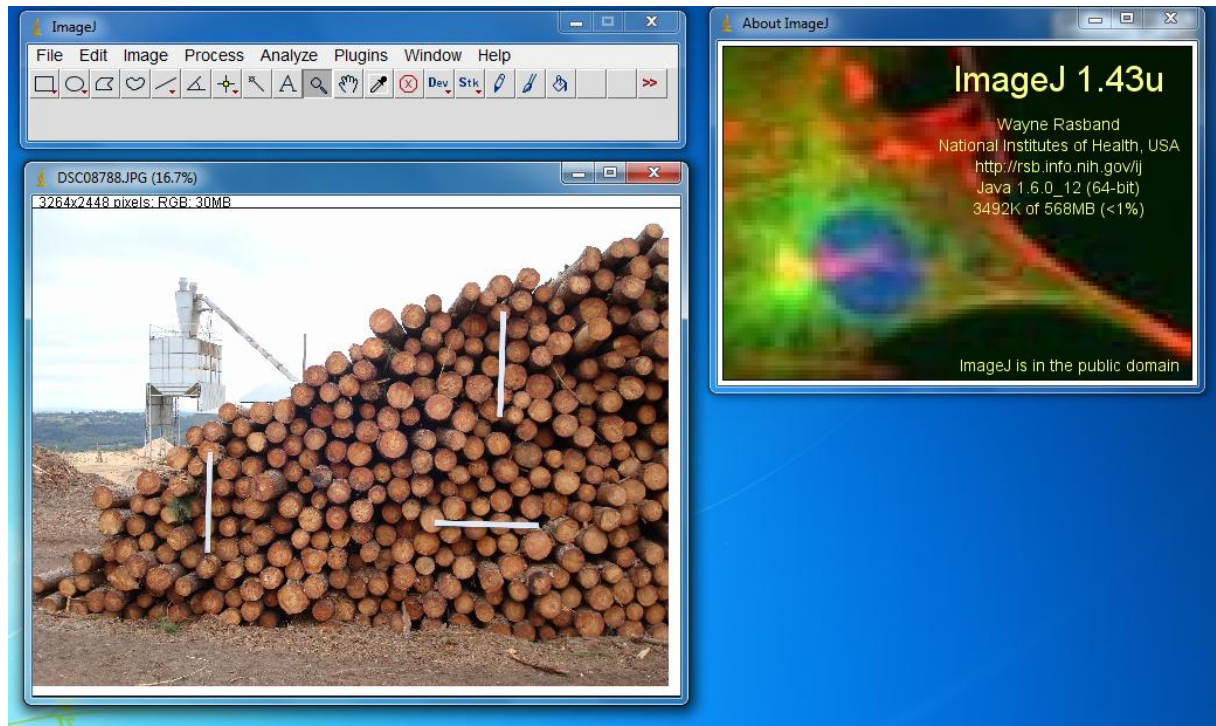


Figura 11 – Informações sobre o software ImageJ

4.3. Calibração do equipamento

A calibração dos equipamentos tem grande importância, pois em todos ocorrem aberrações ópticas, oriundos de defeitos na fabricação das lentes ou até mesmo devido à luz. O problema pode ser resolvido com a calibração das câmeras, que determina os seus parâmetros geométricos (dimensões da imagem, distância focal, e distorções), assim, permitindo que os erros causados na imagem possam ser corrigidos. Lembrando que o termo calibração de câmera em visão de computador se refere à recuperação da posição e orientação da câmera no sistema de coordenadas do objeto (CLARKE E FRYER, 1998).

Para câmeras digitais o processo de calibração é pouco alterado, apenas com a inclusão de considerações sobre o tamanho do pixel, no sensor ou no objeto, e geometria de distribuição dos mesmos.

Para a calibração do equipamento utilizado para este experimento, foi utilizada uma chapa de MDF (Figura 12) com dimensões de 2,80 x 1,80 metros, que

foi quadriculada em uma distância de 10 em 10 centímetros. A distância do centro focal da câmera para a chapa é a mesma distância que foi utilizada para a obtenção das imagens digitais das pilhas de madeira, no caso sendo de 6,50 metros.

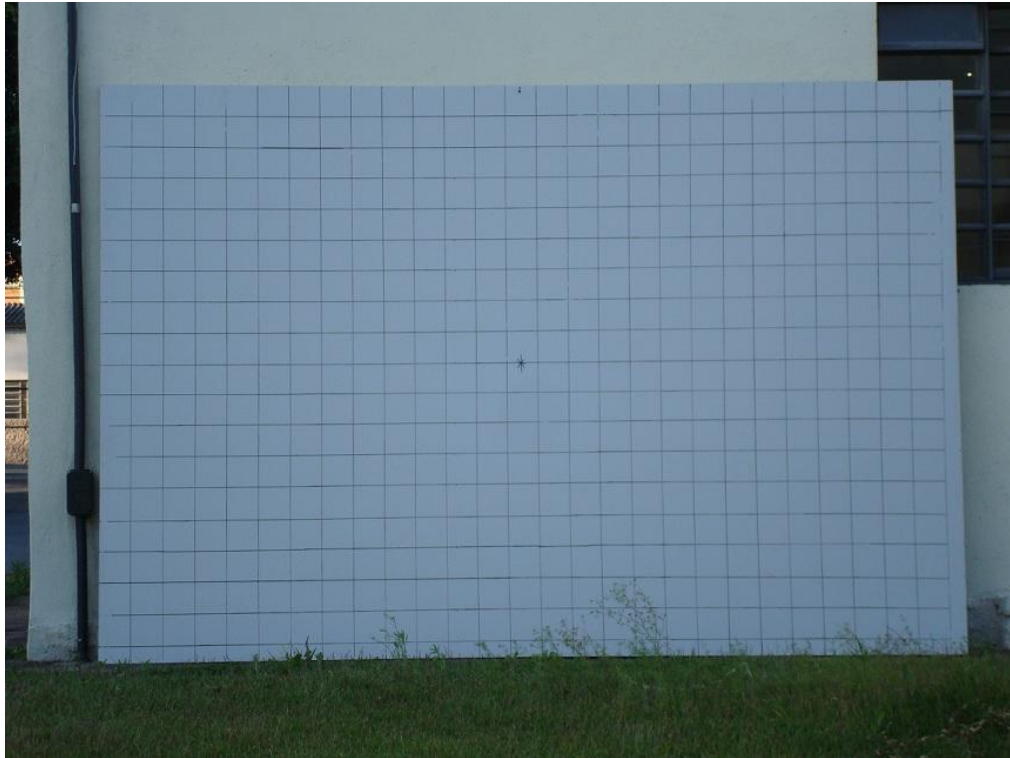


Figura 12 – Chapa de MDF utilizada na calibração

Para um melhor resultado no processamento da imagem no software ImageJ, foi utilizado um segundo software editor de imagens, denominado GIMP, no qual foi possível fazer o realce das quadrículas do painel (Figura 13).

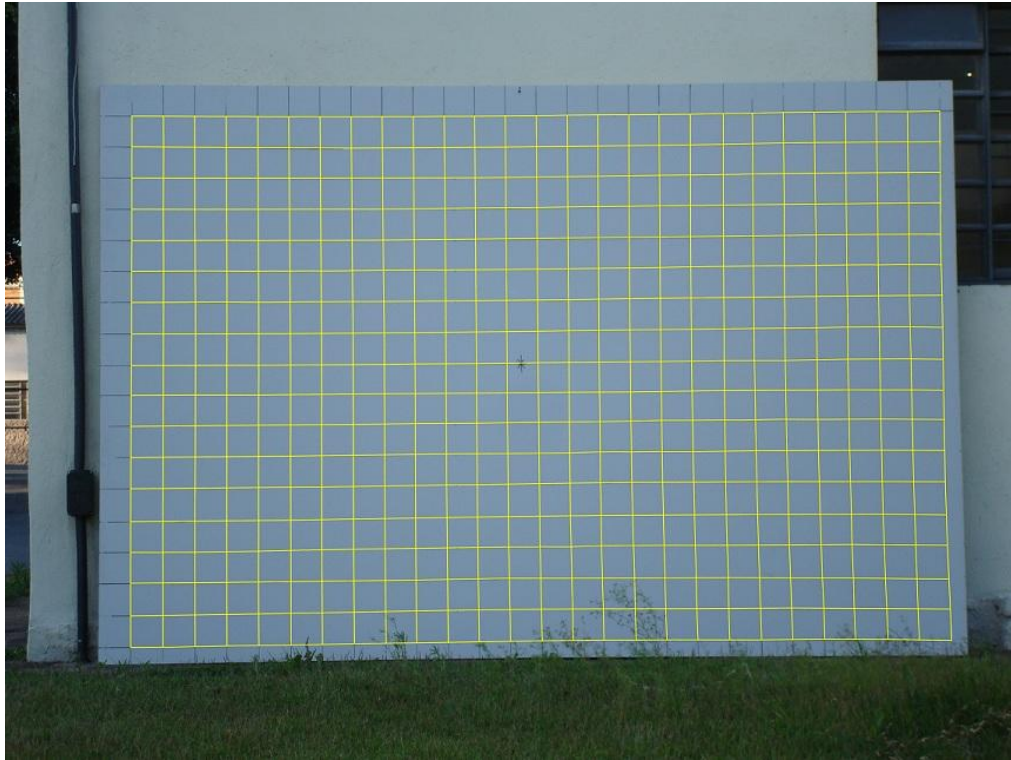


Figura 13 – Quadrículas da chapa realçadas pelo software

Para o cálculo da distorção referente a lente da câmera digital utilizada, foi selecionado alguns pontos do painel, sendo que, o mesmo foi dividido em quatro quadrantes, e a partir dessa divisão foram marcados os pontos, como na Figura 14.

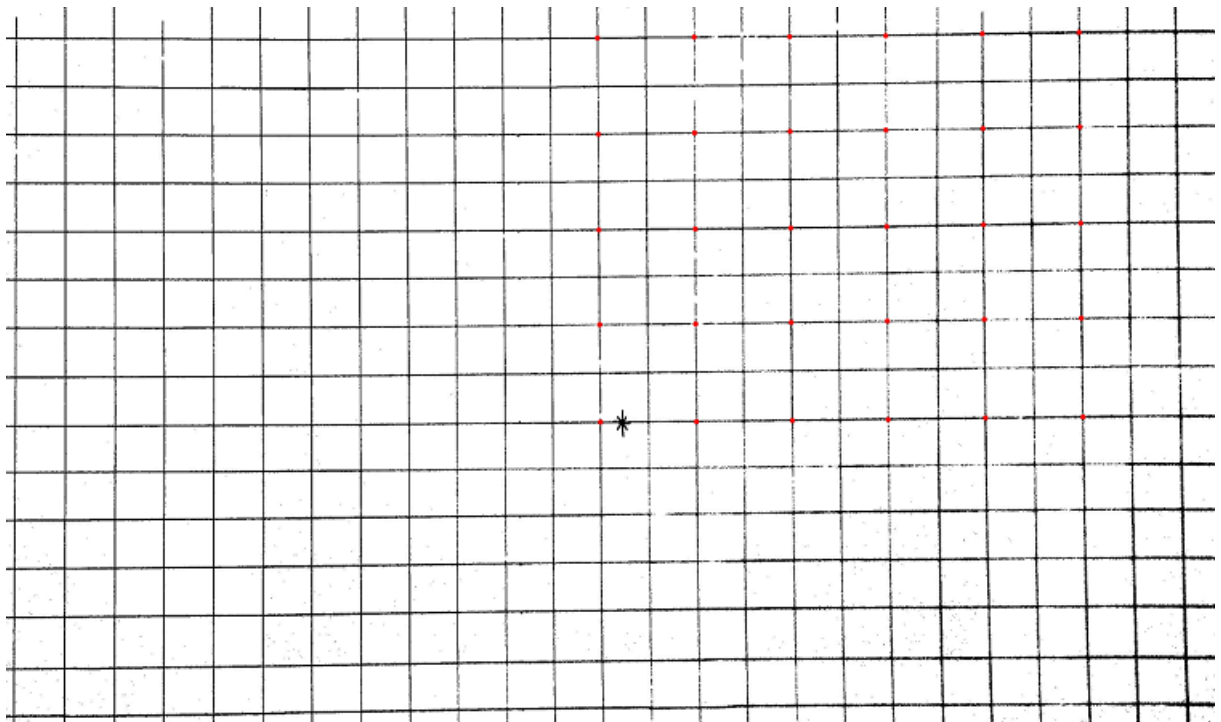


Figura 14 – Painel com os pontos marcados

Após os pontos serem definidos, e com auxílio do software GIMP, é feita a separação do fundo da imagem, resultando em uma imagem somente com os pontos (Figura 15).

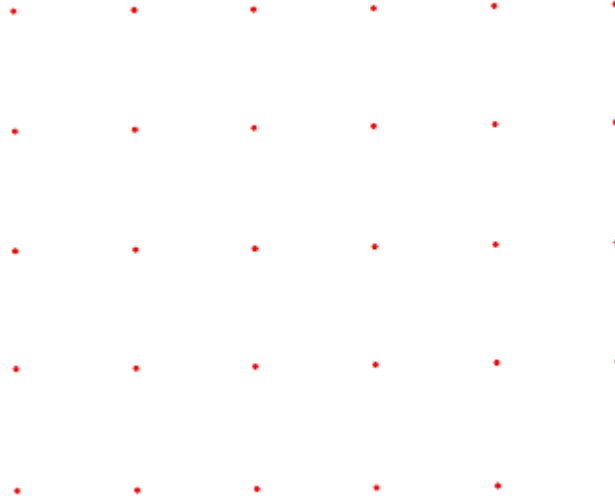


Figura 15 – Resultado após processamento da imagem.

Após o processo de limiarização da imagem, é gerado um resultado em uma planilha, onde é possível visualizar a posição dos pontos nos eixos x e y. Para a determinação da distorção da câmera é feito um cálculo referente a diferença entre o resultado real e o resultado esperado, da seguinte forma:

$$\text{Diferença} = D_{\text{real}} - D_{\text{esperado}} \quad (7)$$

Sendo que: $D = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (8)$

Sabe-se que a distorção causada pela lente da câmera é simétrica, por isso, somente é feito esse cálculo para o 1º quadrante, sendo válido para o resto dos quadrantes.

4.4. Etapas para obtenção das imagens

Primeiramente foram colocados todos os gabaritos em diversos locais da pilha de madeira, da forma que fosse possível a comparação dos diâmetros das toras em relação as dimensões do gabarito.



Figura 16 – Colocação dos gabaritos na pilha

Após a colocação dos gabaritos foi feita a medição da pilha de toras, sendo utilizada uma trena de 20 metros. Primeiro foi feita a medição da altura da pilha de madeira em vários pontos, sendo que tal procedimento foi feito sempre na direção onde os gabaritos foram colocados. Seguindo com a medição dos espaçamentos entre os gabaritos, levando-se em conta sempre na metade do gabarito.

Feita as medições na pilha para futura comparação, o próximo passo é a obtenção das fotos. É importante salientar a importância da obtenção das fotos, pois nessa etapa pode ocasionar em futuros erros caso não seguir com alguns cuidados como:

Condições de iluminação – para a obtenção das imagens sempre é necessário a melhor condição de iluminação, mas como o experimento será realizado como uma prática real, não será utilizado nenhum equipamento que auxilie

nesse procedimento, sabendo que de acordo com o horário a ser realizado as fotografias a incidência solar será diferente em um dos lados da pilha.

Definição da distância da pilha, quanto maior a distância do centro focal da lente da máquina maior a distorção. Quanto mais perto da pilha maior será a quantidade de pixels por unidade de medida (polegada, centímetro, etc.).

Definição da altura da câmera – a altura da câmera deverá ter a metade da altura da pilha, pois sabemos que a distorção que ocorre é simétrica.

Ângulo correto em relação a pilha – o ângulo em que a câmera deve ser posicionada é 90° da pilha.

Depois do processo de obtenção das imagens, o próximo passo é a medição de todas as toras empilhadas, para que seja possível realizar a cubagem rigorosa, através do método de Smalian, assim, podendo ser feita a comparação entre os métodos.

4.5 Materiais utilizados

Os equipamentos utilizados para a obtenção das imagens foram:

Câmera digital modelo SONY W90

Características:

Resolução – 8.1 Megapixels

Resolução Máxima – 3264 x 2448 Pixels

Zoom Óptico – 3 x

Funções – Estabilizador

Tripé Velkon CX 300

Altura máxima – 1,50 m

Trena de 20 metros

4.6. Etapas para o processamento das imagens

Devido as dimensões da pilha e para facilitar o trabalho com as imagens, foram feitas três fotos da pilha, sendo uma foto centralizada e as outras duas das extremidades (Figuras 17, 18 e 19). Com as imagens obtidas e com auxílio do

software GIMP, as imagens foram sobrepostas, de acordo com os pontos comuns gerando apenas uma imagem como na Figura 20.



Figura 17 – Imagem da extremidade da pilha de madeira



Figura 18 – Imagem centralizada da pilha de madeira



Figura 19 – Imagem da extremidade da pilha de madeira



Figura 20 – Imagem gerada com as três imagens originais da pilha de madeira

Para o processamento das imagens obtidas com a câmera digital, é utilizado o programa ImageJ, como já citado anteriormente. Após feita a imagem, o primeiro passo é carregar a imagem gerada, e, seguir com o processamento das imagens.



Figura 21 – Imagem original da pilha de madeira

Para ser possível a realização da medição dos topos das toras, é necessário existir um objeto de referência na imagem obtida, assim, pode-se determinar que uma determinada distância deve ter uma certa quantidade de pixels. De acordo com o trabalho, os gabaritos que serviram de referência tinham a dimensão de 100 x 5 centímetros.

Devido o processo ser feito através da limiarização (threshold) é necessário fazer a conversão da imagem originalmente no formato RGB para o formato em tons de cinza.

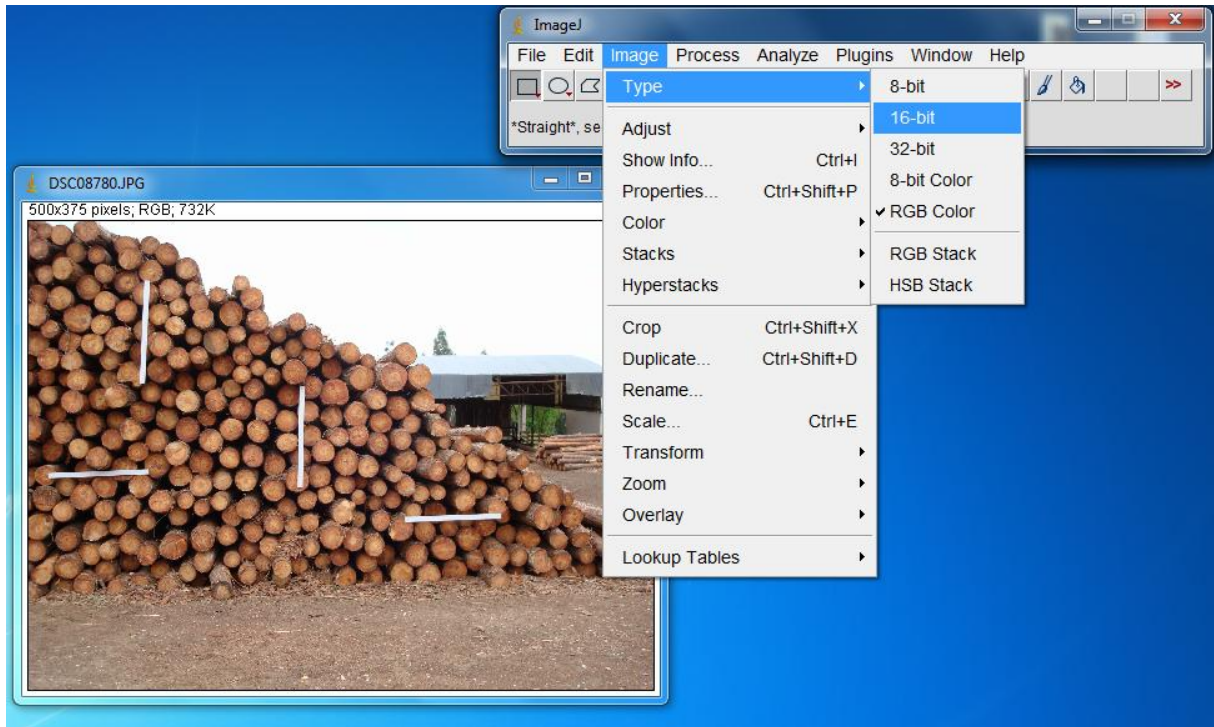


Figura 22 – Comando para conversão da imagem em tons de cinza



Figura 23 – Imagem convertida para tons de cinza

Para um resultado mais eficiente é feita a separação das partes que são de interesse da pesquisa, que são os topos das toras de madeira, e as que não são, como exemplo, no fundo da imagem pode-se ver o galpão da empresa.

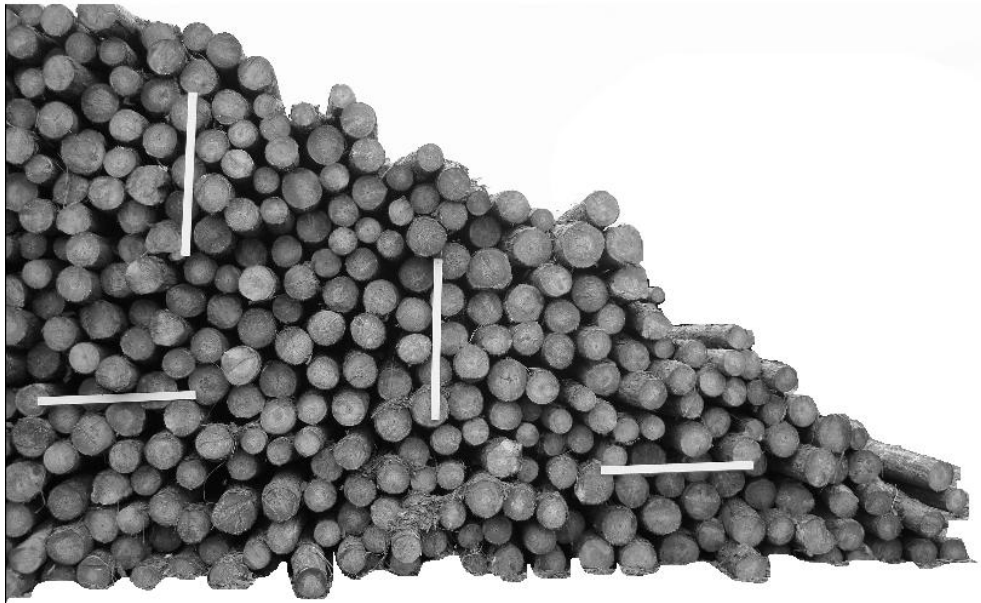


Figura 24 – Separação do fundo da imagem

Após feita a separação da imagem, restando somente o objeto de interesse da pesquisa, é aplicado o comando threshold, que basicamente divide a imagem por um ponto de corte no histograma, normalmente chamado de “threshold level”, sendo que o software ImageJ permite que seja feita a seleção do ponto de corte manualmente, e de acordo com a seleção é possível conferir o resultado em um preview.

Depois de determinado o nível do threshold, o programa divide a imagem em preto (pixels com valores abaixo do nível) e branco (tudo o que tiver um valor acima do nível estabelecido). O resultado é uma imagem em que os softwares de processamento de imagens podem separar o fundo dos objetos de interesse, para posteriormente identificar e medir os objetos.

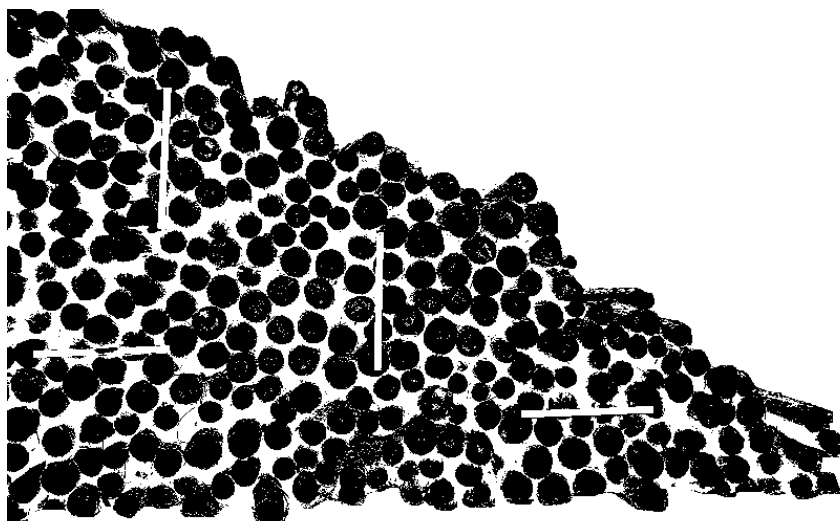


Figura 25 – Exemplo de imagem após a aplicação do comando threshold

Com a imagem obtida após a aplicação do threshold, é feita a análise das partículas, onde serão gerados os resultados do processo, como área, que é o objetivo da pesquisa. As Figuras 26 e 27 detalham o resultado obtido com a utilização do software ImageJ.

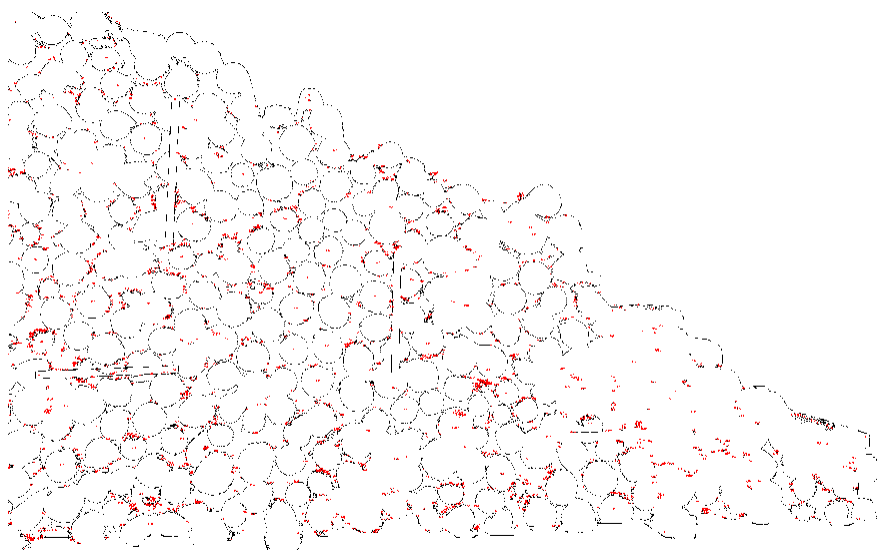


Figura 26 – Imagem gerada após a análise de partículas

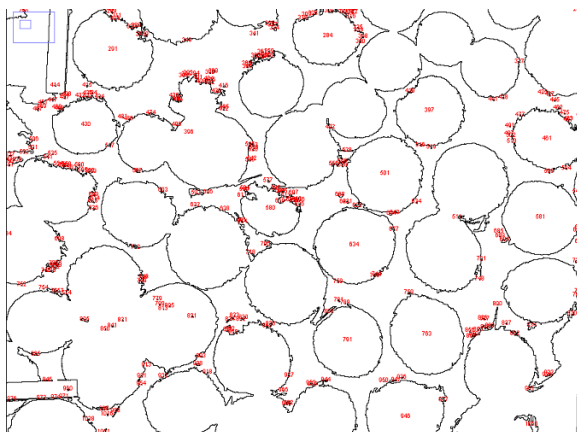


Figura 27 – Detalhe das partículas analisadas

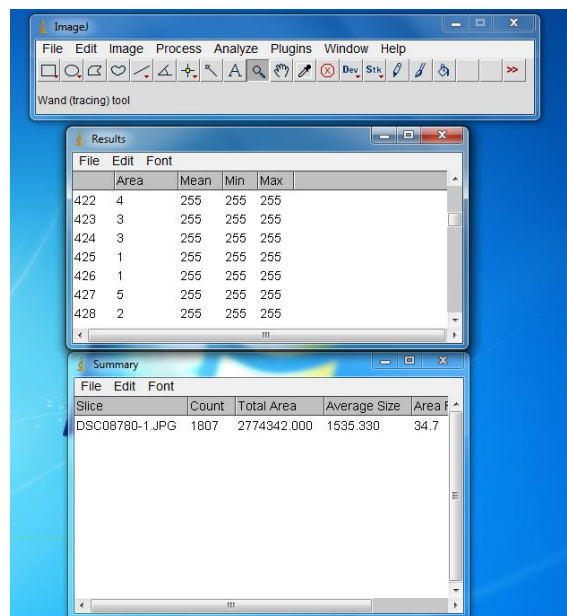


Figura 28 – Resultados obtidos

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Calibração

Os resultados obtidos com a calibração e determinação do valor referente a distorção causada pela câmera foram calculados de acordo com a diferença entre o valor real da posição do ponto menos o valor esperado. A distância entre os pontos é a mesma distância das quadrículas feitas no painel, ou seja, 10 centímetros. Para o cálculo da distorção, a imagem com os pontos é carregada no software ImageJ, e nesse caso, é feita a medição da distância entre os pontos em pixels, sendo que o resultado foi de 100 pixels, portanto, cada pixel equivale a 0,1 centímetro. A Tabela 1 mostra os valores encontrados para a distorção.

Tabela 1 – Resultado da calibração

ESPERADO				REAL			DIFERENÇA
1	X	Y	$D = \sqrt{x^2 + y^2}$	X	Y	$D = \sqrt{x^2 + y^2}$	
2	1000,00	800,00	1280,62	995,00	-810,00	1283,01	2,39
3	800,00	800,00	1131,37	793,83	-807,00	1132,00	0,63
4	600,00	800,00	1000,00	593,00	-803,00	998,23	-1,77
5	400,00	800,00	894,43	393,17	-801,00	892,29	-2,14
6	200,00	800,00	824,62	194,50	-800,00	823,30	-1,32
7	0,00	800,00	800,00	-6,17	-798,00	798,02	-1,98
8	1000,00	600,00	1166,19	996,50	-613,50	1170,21	4,02
9	800,00	600,00	1000,00	795,00	-610,00	1002,06	2,06
10	600,00	600,00	848,53	593,17	-607,00	848,70	0,17
11	400,00	600,00	721,11	394,00	-604,00	721,15	0,04
12	200,00	600,00	632,46	195,50	-601,00	632,00	-0,46
13	0,00	600,00	600,00	-4,13	-598,13	598,15	-1,85
14	1000,00	400,00	1077,03	998,00	-413,50	1080,27	3,24
15	800,00	400,00	894,43	796,00	-410,00	895,39	0,96
16	600,00	400,00	721,11	595,00	-406,17	720,41	-0,70
17	400,00	400,00	565,69	395,50	-403,00	564,65	-1,04
18	200,00	400,00	447,21	197,00	-401,17	446,93	-0,29
19	0,00	400,00	400,00	-3,50	-399,00	399,02	-0,98
20	1000,00	200,00	1019,80	999,83	-216,00	1022,90	3,09
21	800,00	200,00	824,62	798,00	-213,50	826,07	1,45
22	600,00	200,00	632,46	596,17	-210,00	632,07	-0,38
23	400,00	200,00	447,21	396,17	-207,00	446,99	-0,23
24	200,00	200,00	282,84	197,83	-204,00	284,17	1,33
25	0,00	200,00	200,00	-2,00	-202,50	202,51	2,51

26	1000,00	0,00	1000,00	1003,00	-10,83	1003,06	3,06
27	800,00	0,00	800,00	800,00	-8,50	800,05	0,05
28	600,00	0,00	600,00	598,00	-5,17	598,02	-1,98
29	400,00	0,00	400,00	398,87	-3,13	398,88	-1,12
30	200,00	0,00	200,00	199,83	-1,00	199,84	-0,16
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						Média	0,30

Com os resultados obtidos, foi feito um gráfico comparativo (Figura 29), de acordo com os resultados esperado e real, para visualização dos pontos de distorção.

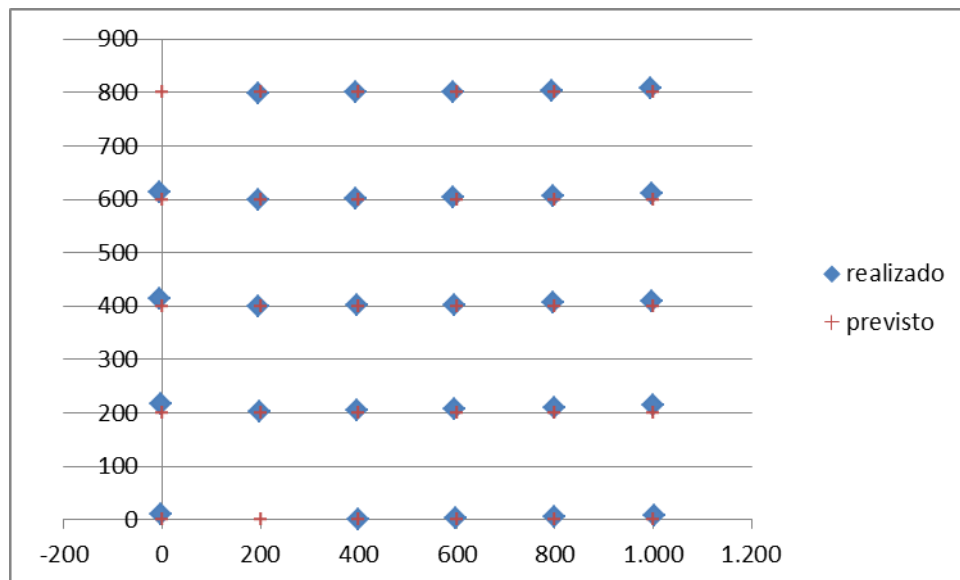


Figura 29 – Gráfico da distorção encontrada.

Com os valores da distorção calculados, pode-se verificar que a maior distorção foi de 4,02 pixels em uma distância de 1000 pixels, ou seja, 0,4%. Assim, pode-se desprezar a distorção causada pela câmera digital.

5.2. Medição

Inicialmente, foram analisados os dados coletados em campo, sendo, o volume calculado na forma de cubagem rigorosa (m^3), volume calculado pelas imagens digitais (m^3), e o volume calculado com o procedimento utilizado pela empresa, ou seja, o volume calculado na forma “estéreo”, bem como o fator de conversão utilizado para calcular o volume real (m^3).

No processo de obtenção das imagens, como era de se esperar, houve a diferença de sombreamento em um dos lados da pilha de madeira, devido principalmente ao horário do experimento ser realizado (Figura 31). Também ocorreu o sombreamento em algumas partes de um mesmo lado da pilha, devido ao empilhamento realizado não deixar as toras devidamente alinhadas (Figura 30).



Figura 30 – Lado 1 da pilha de madeira



Figura 31 – Lado 2 da pilha de madeira

Apesar do lado 2 da pilha de madeira estar mais sombreado do que o lado 1, não houve nenhum tipo de problema no processamento da imagem. As Figuras 32 e 33 representam o resultado obtido após o processamento das imagens no software ImageJ.

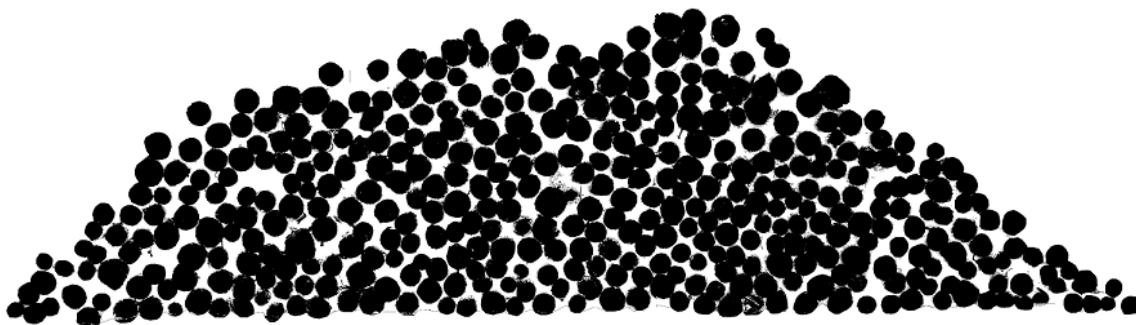


Figura 32 – Resultado do lado 1 após processamento

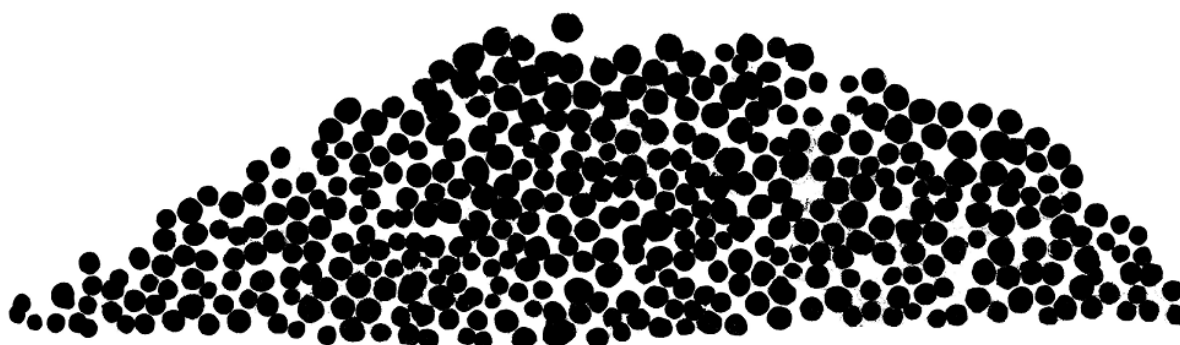


Figura 33 – Resultado do lado 2 após processamento

De acordo com o procedimento escolhido e o método de cálculo para a cubagem rigorosa da pilha de madeira, foram feitas as medições da pilha, e, o processamento das imagens no software ImageJ. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos no experimento.

Tabela 2 – Resultados das medições

Cubagem rigorosa (m ³)		Software ImageJ (m ³)		Método tradicional (estéreo)
Lado 1	Lado 2	Lado 1	Lado 2	50,32 (x 0,7)
29,14	31,05	32,12	33,38	35,22

Com os resultados dos métodos concluídos, foi calculada a diferença entre eles. A Tabela 3 mostra a diferença percentual dos resultados obtidos.

Tabela 3 – Diferenças dos resultados obtidos

Cubagem rigorosa (m³)		Software ImageJ (m³)		Método tradicional (estéreo)
Média	30,09	Média	32,99	35,22
	Diferença		9,63%	17,05%

6. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o método desenvolvido tem uma maior acuracidade do que o método tradicional, pois obteve um erro de aproximadamente 10%, enquanto no tradicional houve um erro de aproximadamente 17%. Também foi possível concluir que a distorção causada pela lente da câmera é desprezível, pois em sua maior variância foi de quatro pixels em 1000 pixels, ou seja, uma variância não significativa. O erro causado pelo método utilizado pela empresa foi menor do que o esperado, mas, devido utilizar um fator médio, os erros poderiam até serem maiores. O método pode ser aperfeiçoado, e possivelmente tenha resultados melhores. Portanto, o método proposto é válido, sendo que não houve grandes dificuldades para chegar nesse resultado, de forma rápida e com um erro menor do que os outros métodos utilizados pela empresa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHRENS, S. **Estimativa volumétrica de árvores individuais: síntese teórica**. IN: **Seminário sobre atualidades e perspectivas florestais**, V. Curitiba, Anais, p. 14-17. 1982.
- BELYEA, H. C. **Forest measurement**. New York: John Willey & Sons. 1946. 319 pp.
- BERTOLA, A. 2002. **Uso de Fotografias Digitais Para Quantificar o Volume Sólido de Madeira Empilhada**. Viçosa: Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa. 47pp.
- CAILLIEZ, F. **Forest volume estimation and yield prediction**. Rome, FAO, 1980.
- CARRILLO, G. E. t alii - **Comparações de coeficientes de apilamiento para brazuelo**. Boletín técnico, INIF, México (103): 1-13, 1985.
- CLARKE, T. A.; FRYER, J. G. **The development of camera calibration methods and models**. Photogrammetric Record, USA, v. 16, Issue 91, p. 51-66, April 1998.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. 1992. **Processamento de Imagens Digitais**. USA: Editora Edgard Blucher Ltda. 509pp.
- HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 2. ed., New York: John Willey & Sons, 1972. 410p.
- INMETRO. **Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial**. Portaria n. 130 de 7/12/1999.
- JEDLIČKA, J. **Correction of radial distortion in digital images**. 2005. Disponível em:
<http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB07/prispevky/jedlicka_potuckova/jedlicka_potuckova.pdf>. Acesso em: 12 de outubro de 2010.
- KEEPERS, C. A. H. **New method of measuring the actual volume of wood in stacks**. Journal of Forestry. 1945, v. 43. p16-22.
- LOETSCH, E.; ZÖHRER, K. E. **Forest inventory**. 2.ed. Munich: BVL Verlagsgesellschaft, 469 p. Vol. 2.1973.
- SCOLFORO, J.R.; FILHO, A.F. **Mensuração florestal 2: Volumetria**. ESAL/FAEPE. p.106-114, 1992.
- SILVA, J. A. A. **Princípios básicos da dendrometria**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, 1979.

SILVA, M. C. **Determinação do volume de madeira empilhada através de processamento de imagens digitais.** Viçosa : UFV, 2003.

THALES, T. **Equipamento Fotográfico: Teoria e Prática.** 2^a.ed. ver. e ampl. São Paulo. Senac, 2003. 246p.

TORQUATO, M.C. - **Fator de empilhamento: implicações técnicas na medição da madeira empilhada.** Sivicultura, São Paulo, 8(30): 230-3, mai./jun. 1983.

WALREE, P. V. **Distortion: Photographic optics.** 2010. Disponível em: <<http://toothwalker.org/optics/distortion.html>>. Acesso em: 10 outubro 2010.