

Fábio Rocha de Lima

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM CLASSIFICADOR DE TAMANHO
ÚTIL DE MADEIRA SERRADA ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE
PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais – Mestrado – da Universidade de Santa Cruz do Sul, Área de Concentração em Controle e Otimização de Processos Industriais, para obtenção do Título de Mestre em Sistemas e Processos Industriais.

Orientador: Prof. Dr. Rolf Fredi Molz

Santa Cruz do Sul, julho de 2008

Fábio Rocha de Lima

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM CLASSIFICADOR DE TAMANHO
ÚTIL DE MADEIRA SERRADA ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE
PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS**

Esta Dissertação foi submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais – Mestrado, Área de Concentração em Controle e Otimização de Processos Industriais, Universidade de Santa Cruz do Sul, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Sistemas e Processos Industriais.

Dr. Rolf Fredi Molz
Professor Orientador

Dr. Marco Flores Ferrão

Dr. Eugênio Simonetto

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa Elisa Grellt pelo amor, carinho e incentivo.

Agradeço ao Xandi pela bagunça e gritaria em casa.

Agradeço a minha mãe e padrasto por toda a ajuda dada nos momentos difíceis.

Agradeço a minha irmã pelo incentivo.

Agradeço a minha avó por toda ajuda dada.

Agradeço ao meu orientador pela ajuda e disponibilidade.

Agradeço ao mestrado por todas oportunidades geradas.

Agradeço as minhas primas Rosa e Flora pela ajuda prestada em todos os momentos.

Agradeço a todos os professores do mestrado: Rolf Fredi Molz, Marco Flores Ferrão, Ruben Edgardo Panta Pazos, Geraldo Lopes Crossetti, Rejane Froza, Jacques Nelson Corleta Schreiber, João Carlos Furtado e Rafael Ramos dos Santos. Obrigado por toda disponibilidade e ajuda de vocês, além do bom humor e amizade demonstrada em todos os momentos.

Agradeço a UNISC pelas oportunidades e infra-estrutura proporcionada para os estudos.

Agradeço a todos que torceram para que me tornasse Mestre em Sistemas e Processos Industriais.

RESUMO

O problema de classificação de tamanho útil de madeira serrada é antigo na indústria de fabricação de molduras e consiste em encontrar a área que pode ser utilizada para fabricação de molduras. O problema é de fácil entendimento, porém é considerado de difícil solução. Muitas técnicas foram utilizadas pelas indústrias, muitas dessas abandonadas, poucas utilizadas, sendo que a maioria com a ajuda de visão computacional e humana em conjunto. Este trabalho propõe a utilização de visão computacional para a classificação da área útil através da captura e processamento de imagens de peças que recebem projeções de lasers em um ângulo de 45% sobre as mesmas. Muitas técnicas foram utilizadas nesta automação industrial, entre elas se destaca a morfologia matemática. Essa técnica garante que no local onde os lasers são projetados, os mesmos mudem de direção ou desapareçam no caso de existir alguma falha na peça, podendo assim ser medido o tamanho útil de cada um dos produtos. Esse sistema proposto apresentou melhores resultados do que o sistema utilizado atualmente pela indústria de fabricação de molduras, podendo-se comprovar através de simulação das duas técnicas, que foi gerado uma otimização do processo.

Palavras-chave: Visão Computacional, Processamento de Imagens, Otimização de Processos, Morfologia Matemática, Automação Industrial

ABSTRACT

The problem of classification of the useful size of wood is a long time challenge in the wood frame industry, and consists basically in finding the right area to be used for the manufacturing. The problem is easy to understand, but very difficult to be solved. Many techniques were experienced by companies, many were abandoned, many were partially utilized, and most used a computer vision and human combination. This paper proposes the use of computer vision for the classification of the useful area through the images capture and image processing of pieces that receive projections of lasers at an angle of 45° on them. Many techniques were utilized in this industrial automation, in this techniques the math morphology. This technique ensures that the spot where the lasers are aimed can change its direction, or even disappear, in the event of any failure in the piece, and thus measuring the useful size each of the products. The proposed system had experienced better results than the currently systems used by frame manufacturing industry, and can prove the process optimization itself through simulation and benchmarking of the two techniques.

Keywords: Computer Vision, Image Processing, Process Optimization, Math Morfology, Industrial Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Radiação eletromagnética e detalhe da radiação eletromagnética visível.	14
Figura 2: Imagem digital com destaque em uma região de 17 X 17 pixels	16
Figura 3: Triângulo HSI dentro de um Cubo RGB	19
Figura 4: Funções para cálculo de H (<i>hue</i>) sem utilizar funções trigonométricas	21
Figura 5: Figura digital transmitida a partir de cabos submarinos em 1921.	22
Figura 6: Imagem com um <i>kernel</i> de convolução.	23
Figura 7: Exemplo de cálculo de pixel em um processamento de imagem.....	24
Figura 8: Um valor multiplicando o <i>kernel</i>	25
Figura 9: Gx – Detecção do Gradiente Sobel.....	27
Figura 10: Gy – Detecção do Gradiente Sobel.....	27
Figura 11: Exemplo de inclusão do elemento estruturante numa imagem binária.....	29
Figura 12: Exemplo de dilatação binária.....	31
Figura 13: Exemplo de Erosão Binária.....	33
Figura 14: Sensor óptico infravermelho	40
Figura 15: Sensor magnético por efeito Hall localizado em uma engrenagem de uma esteira.....	40
Figura 16: Modelo de um CCD	45
Figura 17: Modelos de um CMOS	46
Figura 18: Sistema Atual de Visão Computacional.	50
Figura 19: Peça com esmoado no lado direito e com casca.	51
Figura 20: Peça de madeira com esmoado sem casca.	52
Figura 21: Sensor localizado na engrenagem da esteira.....	53
Figura 22: CLP - Controlador Lógico Programável utilizado na separação	54
Figura 23: Frame Grabber Picolo Pro II (4 canais)	55
Figura 24: Câmera KODO e lente com abertura 6x60mm.....	56
Figura 25: Exemplo de iluminação de linhas lasers sobre objetos	57
Figura 26: Ambiente simulado no sistema proposto	58
Figura 27: Esteira com um <i>block</i> em movimento.....	59
Figura 28: Câmera Kodo e painel de configurações.....	60
Figura 29: Destaque do sensor de reflexão utilizado.....	62
Figura 30: Intensidade do laser projetado de acordo com o respectivo ângulo.....	63
Figura 31: Espessura relativa da linha projetada de acordo com a distância.	64
Figura 32: Comprimento da linha projetada de acordo com a distancia	65
Figura 33: Iluminação de 4 linhas lasers em cima de <i>block</i> com esmoado	66

Figura 34: Quatro emissores de linhas lasers em um ângulo de 45°	67
Figura 35: Lâmpadas e Filtros	68
Figura 36: Placa Picolo Pro II utilizada.....	72
Figura 37: Relé com entrada de em 12 volts	73
Figura 38: Imagem Original e com operador gradiente sobel.....	76
Figura 39: Imagem Original e com operador gradiente sobel.....	77
Figura 40: Histograma do gradiente sobel da figura 38	78
Figura 41: Histograma do gradiente sobel da figura 39	78
Figura 42: Limiarização da figura 38	79
Figura 43: Limiarização da figura 39	79
Figura 44: Área de interesse para processamento da figura 38.....	80
Figura 45: Área de interesse para processamento da figura 39.....	80
Figura 46: Matriz de <i>pixels</i> de uma imagem limiarizada	81
Figura 47: Vetor para cálculo de quantidade <i>pixels</i> do lado esquerdo	81
Figura 48: Vetor para cálculo de quantidade <i>pixels</i> do lado direito	81
Figura 49: Detecção dos limites do <i>block</i> da figura 38	83
Figura 50: Detecção dos limites do <i>block</i> da figura 39	83
Figura 51: Detecção do laser na figura 38 através de limiarização em cima do padrão de cores HSI adaptado	84
Figura 52: Detecção do laser na figura 39 através de limiarização em cima do padrão de cores HSI adaptado	84
Figura 53: Matriz com pixels do componente Red de uma imagem com detalhe para pixels com maior valor em cada coluna	85
Figura 54: <i>Zoom</i> do Laser da figura 53 Afinado	86
Figura 55: Afinamento do laser da figura 38.....	86
Figura 56: Afinamento do laser da figura 39.....	87
Figura 57: Limites dos <i>Lasers</i> da figura 38.....	88
Figura 58: Limites dos <i>Lasers</i> da figura 39.....	88
Figura 59: Exemplo de laser ultrapassando o limite inferior.....	89
Figura 60: Área útil encontrada no processamento da figura 38.....	90
Figura 61: Área útil encontrada no processamento da figura 39.....	90
Figura 62: Primeiro frame processado do <i>block</i> de exemplo	91
Figura 63: Segundo frame processado do <i>block</i> exemplo.....	91
Figura 64: Terceiro frame processado do <i>block</i> exemplo.....	92
Figura 65: Quarto frame processado do <i>block</i> exemplo.....	92
Figura 66: Quinto frame processado do <i>block</i> exemplo.....	92
Figura 67: Sexto frame processado do <i>block</i> exemplo.....	93
Figura 68: Sétimo frame processado do <i>block</i> exemplo.....	93
Figura 69: Oitavo frame processado do <i>block</i> exemplo	93
Figura 70: Nono frame processado do <i>block</i> exemplo	94
Figura 71: Décimo frame processado do <i>block</i> exemplo	94
Figura 72: Último <i>frame</i> processado do <i>block</i> exemplo.....	94

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Fundamentos de Cor	13
2.2	Fundamentos de Imagem Digital.....	15
2.3	Padrões de Cores	17
2.3.1	Modelo RGB	17
2.3.2	Modelo HSI	18
2.3.3	Conversão de RGB para HSI.....	19
2.4	Processamento de Imagens.....	21
2.4.1	Convolução.....	23
2.4.2	Detecção de Bordas	25
2.4.3	Gradiente	26
2.5	Morfologia Matemática	27
2.5.1	Elemento Estruturante (EE).....	28
2.5.2	Dilatação	30
2.5.3	Erosão	32
2.5.4	Fechamento Binário.....	35
2.5.5	Abertura	37
2.6	Automação Industrial	39
2.6.1	Sensores.....	39
2.6.2	CLP – Controlador Lógico Programável.....	41
2.6.3	Câmeras	42
2.6.4	Lasers.....	46
3	SISTEMA ATUAL	48
4	SISTEMA PROPOSTO.....	57
4.1	Ambiente simulado.....	58
4.1.1	Esteira	59
4.1.2	Câmeras	60
4.1.3	Sensores.....	61
4.1.4	Lasers.....	63

4.1.5	Iluminação	67
4.1.6	Filtros de Radiação Eletromagnéticas	68
4.1.7	CLP	69
4.1.8	Computador	71
4.1.9	Frame Grabber	71
4.1.10	Placa de IO e Relés	73
4.2	Software.....	74
4.2.1	Captura das Imagens e Comunicação com IO.....	75
4.2.2	Detecção de Limites do <i>Block</i>	75
4.2.3	Detecção dos Lasers	83
4.2.4	Análise dos Lasers	87
4.3	Testes no Ambiente Proposto	91
5	CONCLUSÕES	96
	REFERÊNCIAS	100

1 INTRODUÇÃO

As empresas estão constantemente preocupadas em ganhar competitividade, utilizando ferramentas inovadoras ou já consagradas como armas para vencer a concorrência. Apesar do enfoque em formas inovadoras de desenvolver produtos e prestar serviços, uma constante permanece: as empresas que oferecem produtos e serviços de melhor qualidade e menor custos sempre vencem a concorrência.

A preocupação com a qualidade tem prevalecido desde o início do século XX, em parte deve-se à maciça migração de atividades agrícolas para uma sociedade industrial. Na medida que o país e o mundo evoluía de uma cultura artesanal em direção à produção em massa, a garantia de qualidade dos produtos passou a depender da inspeção de grupos de especialistas em qualidade dos produtos desenvolvidos(ECKES, 2001).

Este tipo de processo de controle de qualidade e sua adequação as necessidades dos clientes estão funcionando há anos, por muitos motivos. O principal motivo vem pelo fato das pessoas cada vez mais terem novas necessidades, criando um consumismo exagerado principalmente por parte dos norte-americanos no decorrer do século. Por esse motivo a quantidade de bens e serviços superava muito a qualidade, principalmente pelo fato das pessoas, do início do século XX, aceitarem com facilidade problemas com a qualidade, sendo dispostas a comprarem janelas barulhentas a portas de carros que não fechassem direito (ECKES, 2001). Além deste tipo de aceitação, a grande maioria das mulheres não trabalhavam fora de casa, ao contrário do que ocorre nos dias atuais, sendo assim, esperar um conserto por um técnico em casa eram atividades bem mais aceitáveis do que nos dias atuais. Eckes(2001) afirma que em 1970 tudo isso começou a

mudar, pois a definição de qualidade começou a mudar, inicialmente por características físicas, porém uma série de fatos fizeram modificar a percepção das pessoas em relação a qualidade dos serviços e produtos. Em primeiro lugar o feminismo mudou radicalmente o conceito de lar, pois com a entrada maciça de mulheres no mercado de trabalho, menos tempo elas tinham para se dedicar à manutenção e preservação da casa. O segundo fator veio com a crise do combustível, quando as pessoas começaram a trocar seus carros que gastavam muito por aqueles importados do Japão que eram mais econômicos. Com essa troca as pessoas começaram a notar que tiveram muitos outros ganhos, como a durabilidade e confiabilidade. Isso tudo ocorreu com os americanos pelo fato da abordagem do controle de qualidade ser muito diferente, ocorrendo à inspeção sempre no final da produção, diretamente no produto acabado. Este tipo de abordagem provou-se muito ineficiente e cara, principalmente porque a inspeção da qualidade de um produto não agrega valor ao mesmo, ele apenas verifica se uma especificação ou função é atendida, além disso, se confiarmos somente na inspeção nós não teremos garantia nenhuma de melhoria no desempenho da industrialização de um certo produto.

Os carros japoneses seguiam um processo completamente diferente, e em vez da inspeção dos produtos serem feitos no final do processo, os fabricantes japoneses estavam comprometidos com o aprimoramento contínuo do processo, em todos os estágios do mesmo, sendo considerado suas técnicas como revolucionárias, levando todos da empresa a terem um compromisso com o aprimoramento de todos os processos.

O presente trabalho desenvolvido utiliza a técnica japonesa, visto que o produto não é inspecionado no final do processo, mas sim em um dos processos existentes no meio do processo total de produção de molduras.

O processo desenvolvido neste trabalho utiliza a análise da qualidade das madeiras serradas providas principalmente das costaneiras das árvores. Quando chegam na indústria, as madeiras são serradas e divididas em costaneiras e blocos. Os blocos serrados são as madeiras que tem origem do centro das toras, enquanto as costaneiras tem sua origem na volta da árvore. As madeiras serradas que possuem defeitos pelo fato

de estar na parte mais externa das árvores, e que normalmente possuem cascas são chamadas de *blocks*.

O sistema proposto tem como finalidade a análise dos *blocks*, os classificando em quatro categorias, para que o processo final de produção possa utilizar a maior quantidade de madeiras possíveis, visto que as madeiras serradas nos cantos das árvores possuem tamanhos variados e áreas úteis variáveis, que em muitos casos são descartados, prejudicando muito a capacidade competitiva das empresas nacionais deste ramo.

Os produtos industrializados dos cantos das árvores contem um grande índice de problemas com a qualidade, muitas vezes tendo que ser descartados pelo processo, além da grande perda de matéria prima que atualmente não é utilizado pelas empresas.

Em uma indústria brasileira de fabricação de molduras através de madeira serrada, um dos processos existente na linha de produção possui um desperdício muito grande de matéria prima e a conseqüente perda de produção e dinheiro pela empresa. Este processo é conhecido como classificação de tamanho útil de madeiras serrada das costaneiras.

Com as técnicas que são apresentadas neste trabalho, o produto é analisado e classificado durante o processo, onde a empresa envolvida neste trabalho possui uma grande responsabilidade com o melhoramento contínuo de todos os processos envolvidos na fabricação de molduras.

A seguir será apresentada toda a fundamentação teórica do trabalho, iniciando a descrição de cor e modelo de cores, sendo apresentado na seqüência processamento de imagens a qual é uma das técnicas utilizadas em computação gráfica, onde é detalhada a morfologia matemática, que é uma das varias técnicas de visão computacional. Na seqüência é verificada toda parte de hardware envolvido neste processo, detalhando os sensores, CLP e câmeras. Após a fundamentação teórica é apresentado o sistema utilizado atualmente na industria estudada, sistema este que utiliza processamento de imagens e visão humana para classificação de área útil das peças. Após é mostrado o centro deste trabalho, que é o sistema proposto, o qual utilizou-se lasers e processamento de imagens. Este trabalho é finalizado com as conclusões do trabalho

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica dos temas predominantes desta dissertação, onde primeiramente é descrita a fundamentação sobre as cores, imagem digital, padrão de cores, luz refletida por vegetais e processamento de imagens, seguindo pela morfologia matemática e finalizando com a apresentação de toda parte referente ao hardware envolvido neste projeto.

2.1 Fundamentos de Cor

Um dos primeiros estudos sobre cor foi feito por Isaac Newton, o qual mostrou que a combinação de todas as cores forma a luz branca. Através de um prisma ele demonstrou que as cores eram geradas por um conjunto de sete cores, o qual são constituídas pelas cores do arco-íris. Isaac Newton demonstrou que com a combinação de algumas cores dentre o sete componentes, seria possível construir qualquer outra cor (BONATO, 2004).

Após o estudo de Isaac Newton, surgiu o estudo de Thomas Yong, James Forbes e James Clerk Maxwell, que demonstraram que com apenas três cores em combinação seria possível gerar tantas cores tanto as que Newton tinha gerado com as sete cores do seu estudo (BONATO, 2004).

A cor é de grande importância para a Computação Gráfica uma vez que esta forma o resultado de todo processamento executado na área (GOMES, 2003). A luz é produzida por radiação eletromagnética, e somente uma parte desta radiação é visível,

e esta faixa de radiação visível está aproximadamente entre 400 e 800 nanômetros, o qual representa o comprimento da onda.

Na realidade quando os olhos recebem uma determinada cor, ele está recebendo radiação eletromagnética de vários comprimentos de onda, que combinadas geram uma determinada cor (GOMES, 2003). Uma cor que possui energia somente em um comprimento de onda é chamado de cor espectral pura ou cor monocromática(GOMES, 2003).

Além da combinação de diversas cores para formar uma outra, deve-se levar em consideração a temperatura da cor, pois um objeto muda de cor quando ele é aquecido. Quando um objeto é aquecido existe uma mudança na quantidade de energia radiante emitida acarretando a alteração de sua cor (GOMES, 2003).

Toda a cor visível aos seres humanos é constituída pelas três cores básicas que são Vermelha(R), Verde(G) e Azul(B), sendo na Figura 1 apresentado as regiões do espectro eletromagnético em destaque, destacando a região visível.

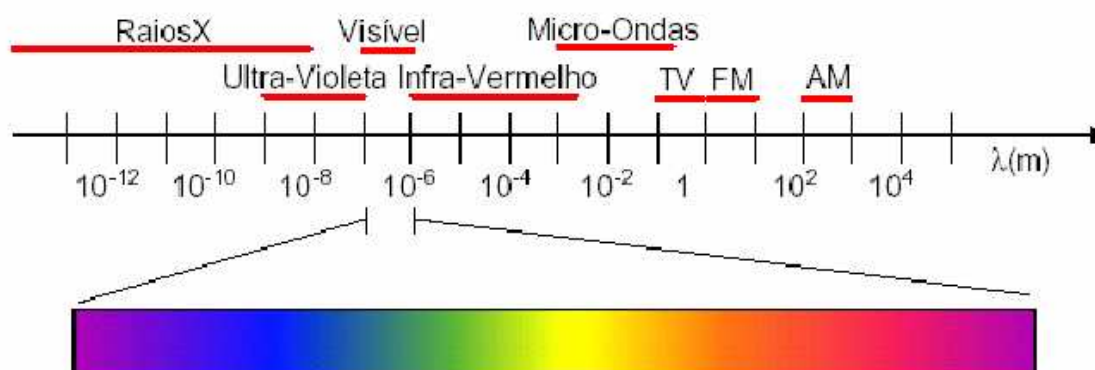


Figura 1: Radiação eletromagnética e detalhe da radiação eletromagnética visível.

Computacionalmente, existem vários sistemas de cor, porém devido a grande importância de cor nos processos industriais, existe um Sistema Padrão conhecido como CIE-RGB (GOMES, 2003), padrão criado pela CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*), que é um órgão que tem a finalidade de padronizar as métricas e terminologias de cores (BONATO, 2004).

2.2 Fundamentos de Imagem Digital

A imagem digital é a materialização de uma grande parte dos processos de computação gráfica, em especial no processamento de imagens (GONZALES, 2004).

Para representar e manipular imagens digitais deve-se criar modelos matemáticos adequados a esta finalidade.

A imagem é o resultado de iluminação com um suporte bi-dimensional o qual estabelece um modelo matemático que seja possível gerar modelos abstratos da imagem, para uma futura representação que permita obter-se uma codificação que possa ser utilizada em um computador (GOMES, 2002).

Este modelo matemático é construído a partir de uma imagem de cena real, que sofre uma transformação para poder ser digitalizada, já que neste mundo tudo é analógico e deve ser modificado em digital para que possa ser processada em equipamentos digitais como, por exemplo, o computador (GOMES, 2003). Este processo de digitalização é gerado a partir do mapeamento da imagem analógica, onde essa deve ser dividida em vários pontos, formando uma matriz com superfície bidimensional como é mostrada na Figura 2, e a Equação 1 pode expressar uma imagem digital (GONZALES, 2000).

$$f(x,y) \tag{1}$$

Cada ponto desta matriz representa o chamado *pixel* referente à área aproximada na imagem, de onde será processada uma cor apropriada para cada *pixel* da imagem digital (GOMES, 2003). Gera-se essa matriz de *pixels* nas imagens digitais ou em qualquer digitalização pelo fato que existem limitações impostas pelo hardware, onde a imagem é repartida em quadrados discretos (ANTON, 2001).

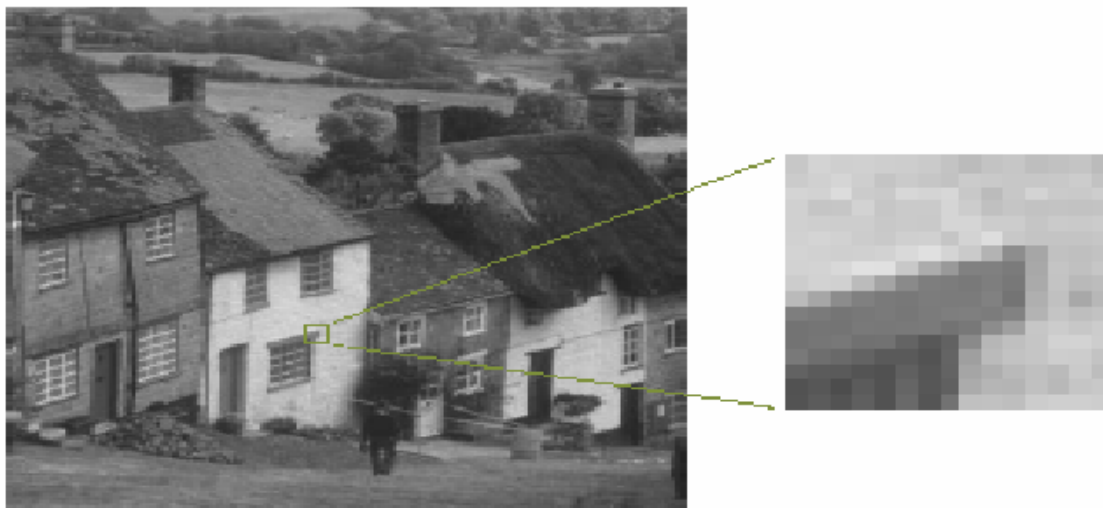


Figura 2: Imagem digital com destaque em uma região de 17 X 17 pixels

Para que a imagem possa ser capturada, a câmera que executa esta tarefa deve possuir sensores capazes de transformar uma imagem analógica em digital. Para esta finalidade, os sensores mais utilizados atualmente são os CCD (*Charge Coupled Device*) e CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) (WHELAN, 2001).

Cada *pixel* da imagem possui uma determinada cor, e esses dois elementos estão relacionados com resolução espacial de cor da imagem (GOMES, 2002). O chamado '*gamute*' de uma imagem é o conjunto de cores ou a quantidade dessas utilizadas em uma imagem. Quando o *gamute* de uma imagem digital for formada por apenas duas cores, ela é chamada de imagem binária, ou imagem de dois níveis. Quando se tem uma imagem monocromática de *gamute* superior a dois níveis, tem-se uma imagem com escala de cinzas (GOMES, 2002). No processamento de imagens, costuma-se utilizar imagens monocromáticas com escalas de cinza, porém para se determinar padrões, essas imagens devem, de preferência, ser binárias, para facilitar o processamento. Existem casos específicos, que é utilizado imagens coloridas, principalmente quando se está trabalhando com o espectro de cores (ULLMAN, 2000).

2.3 Padrões de Cores

Padrões de cores, ou mais conhecidos como modelos de cor são formados por um sistema de coordenadas, tri-dimensional, onde cada ponto dentro deste contexto representa uma cor. Existem vários modelos de cores, dentre os quais existem o RGB e HSI que são utilizados nesta dissertação, porém existem padrões de cores específicos para algumas finalidades, como por exemplo, o modelo CMY (*Cyan, Magenta, Yellow*), que é amplamente utilizado pelas impressoras coloridas.

2.3.1 Modelo RGB

De acordo com Gomes e Velho (2002), este padrão foi definido pela CIE como CIE-RGB em 1931, e utiliza o modelo tricromático de cores primárias com base nas ondas de baixa, média e alta frequência do espectro, representada respectivamente pelas cores vermelha(*Red*), verde(*Green*) e azul(*Blue*) e possuem os seguintes comprimentos de ondas:

$$R = 700 \text{ m } \mu$$

$$G = 546 \text{ m } \mu$$

$$B = 435.8 \text{ m } \mu$$

Gomes e Velho (2003) afirmam que este modelo tricromático foi introduzido no século XIX pelos físicos Young e Helmholtz, após um estudo que mostra que estas três cores são colocadas em um vetor e enviadas para o cérebro para seu devido processamento.

De acordo com Gomes e Velho (2002) a expressão matemática para calcular a luminância de uma cor, e é dada pela Equação 2.

$$I(x,y) = 0.176 R + 0.81 G + 0.011 B \quad (2)$$

De acordo com Gonzáles e Woods (2000), a maioria das câmeras digitais utiliza este modelo, o que torna o mesmo muito importante em processamento de imagens, já

que para uma imagem ser transformada de um modelo para outro é requerido muito tempo, o que na maioria das vezes torna inviável a operação de conversão.

Neste modelo, conforme Gonzáles e Woods (2000), todos os processamentos de imagens necessitam ser gerados separadamente para cada uma das cores correspondentes neste modelo, o que acarreta que a imagem final deste processo possa ter propriedades alteradas de forma que muitas cores não possuam uma aparência natural para o olho humano.

2.3.2 Modelo HSI

O modelo de cor HSI é representado por matiz(H), saturação(S) e intensidade (I) (BONATO, 2004). Este modelo é representado pela forma triangular dentro do cubo formado pelo modelo RGB como é mostrado na figura 3, triângulo este que tem a forma bi-dimensional enquanto o cubo RGB tem a forma tri-dimensional conforme é mostrado nesta mesma imagem. A matiz é a cor pura e saturação é a diluição de uma cor pura pela luz branca. Já a intensidade corresponde pelo nível de luminância de uma imagem.

Neste modelo, conforme descreve Gonzáles e Woods (2000), os componentes matiz e saturação estão relacionados diretamente com percepção da visão humana de cores, e por isso, este modelo é adequado para algoritmos de processamento de imagens baseado no sistema de visão humana.

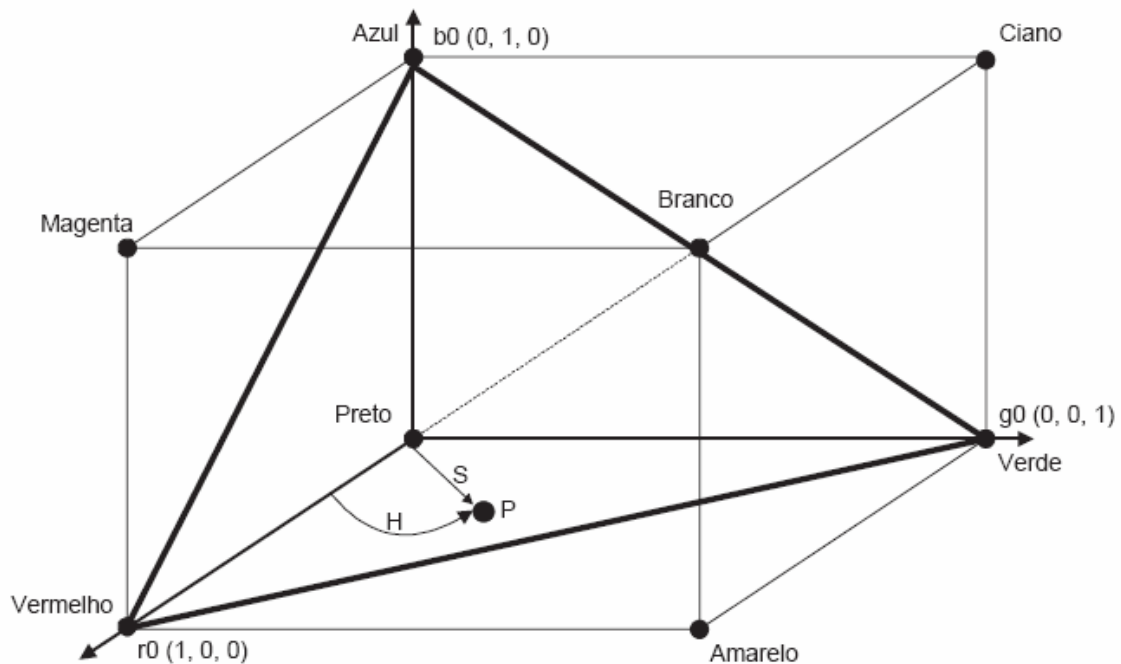


Figura 3: Triângulo HSI dentro de um Cubo RGB

2.3.3 Conversão de RGB para HSI

A conversão de cor do modelo RGB para HSI é considerada a mais complicada do que a conversão entre outros modelos de cor (GONZALES, 2000). A complexibilidade desta operação deve-se muito a utilização de funções trigonométricas para se obter o valor de *hue* (H). Porém Swenson (2000) apresenta um modelo simplificado para esta operação. Para se obter a conversão, é necessária dividir o componente *hue* em três. Swenson (2000) mostra que quando a cor B (*Blue*) for a menor entre as cores R (*Red*), G (*Green*) e B (*Blue*), o valor de *hue* está localizado na região oposta ao vértice de B (*Blue*), ou seja, encontra-se entre 0 e 120 graus. Já quando o R (*Red*) for à cor de menor valor, o valor de *hue* encontra-se entre 120 e 240 graus. Por fim, quando G (*Green*) for a menor cor, o valor de *hue* encontra-se entre 240 e 360 graus.

Em Bonato (2004) é mostrado que a cor HSI é gerada a partir de cores normalizadas em um intervalo de [0,1] das cores vermelho, verde e azul do modelo RGB, conforme as equações 3, 4 e 5.

$$r = \frac{R}{R + G + B} \quad (3)$$

$$g = \frac{G}{R + G + B} \quad (4)$$

$$b = \frac{B}{R + G + B} \quad (5)$$

Como mostrado nas equações 3, 4 e 5, os valores para r , g e b serão normalizados em um intervalo entre [0,1], e a soma destes três valores será igual a 1.

Quando as três cores R, G e B possuem o mesmo valor, a cor resultante é conhecida como *achromatic*, e está localizada no centro do triângulo HSI dentro do cubo de cor RGB.

O cálculo do valor da intensidade (I) e saturação (S) é gerado de forma muito simples, conforme as equações 6 e 7 respectivamente.

$$I = \frac{R}{3} + \frac{G}{3} + \frac{B}{3} \quad (6)$$

$$S = 1 - 3 \min(r, b, g) \quad (7)$$

De acordo com Swenson (2000) o modelo de algoritmo de cálculo de valor de H sem o uso de funções trigonométricas é apresentado na Figura 4.

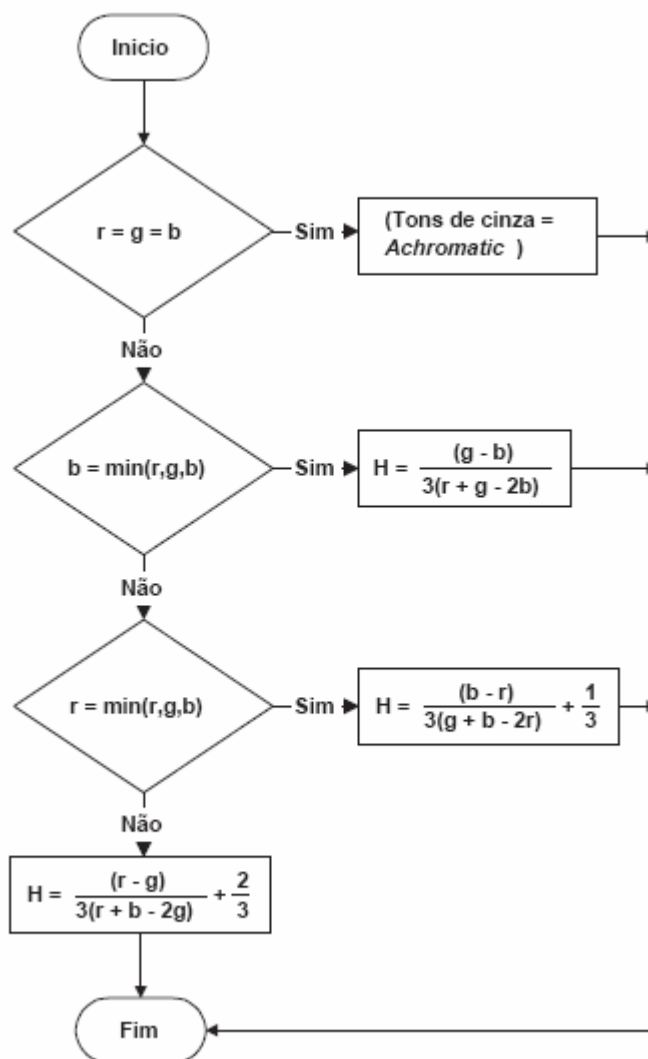


Figura 4: Funções para cálculo de H (*hue*) sem utilizar funções trigonométricas
 Extraído de SWENSON(2000)

2.4 Processamento de Imagens

O interesse por processamento de imagens digitais possui basicamente duas aplicações: melhoria para visualização humana e percepção automática de dados através de computador (GONZALES, 2000). Gonzáles e Woods (2000) descrevem que uma das primeiras aplicações de processamento de imagens foi para o melhoramento de imagens digitais para jornais, como no exemplo da Figura 5, enviada através de cabos

submarinos de Londres até New York, ao qual foi reduzido o tempo de transporte do mesmo, de mais de uma semana, a menos de três horas.

O trabalho com imagens foi viabilizado somente após a criação de dispositivos de entrada e saídas próprias para computação gráfica. Antes da criação destes dispositivos, todas as informações contidas em computadores era representada por caracteres alfanuméricos (COHEN, 2006).



Figura 5: Figura digital transmitida a partir de cabos submarinos em 1921.

Extraído de GONZALES(2000)

Gonzáles e Woods (2000) afirmam que melhoramentos em métodos de processamento de imagens digitais continuam a ser feitos até os dias atuais, entretanto o potencial só foi amplamente utilizado com o surgimento de computadores de grande porte. Os autores afirmam que os grandes desafios do processamento de imagens é a percepção por máquina utilizada para diversas áreas, principalmente para a visão computacional industrial e reconhecimento militar, mas essa técnica pode ser utilizada em praticamente qualquer área que a percepção visual é necessária (GONZALES, 2000).

As técnicas de processamento de imagens podem ser divididas nas seguintes etapas: aquisição da imagem, pré-processamento, segmentação, representação e interpretação.

O processamento feito em uma imagem pode ser expresso na equação 8, onde T representa uma operação sobre f , e $f(x,y)$ é uma imagem (GOMES, 2002).

$$G(x,y) = T[f(x,y)] \quad (8)$$

Dente tantas técnicas existentes para processamento de imagens, há a convolução, e este é aqui mencionado, pois é uma das técnicas mais empregadas na área de processamento de imagens e utilizada amplamente no sistema proposto.

2.4.1 Convolução

Gomes e Velho (2002) definem convolução como sendo o cálculo de intensidade de um determinado *pixel* em relação aos seus vizinhos, e neste cálculo utilizam-se pesos diferentes para vizinhos diferentes. Primeiramente deve existir um *kernel* também conhecida como máscara, que consistem em uma janela que se move sobre a imagem demonstrada na Figura 6, o qual no exemplo possui o tamanho espacial de 3 X 3 *pixels*.

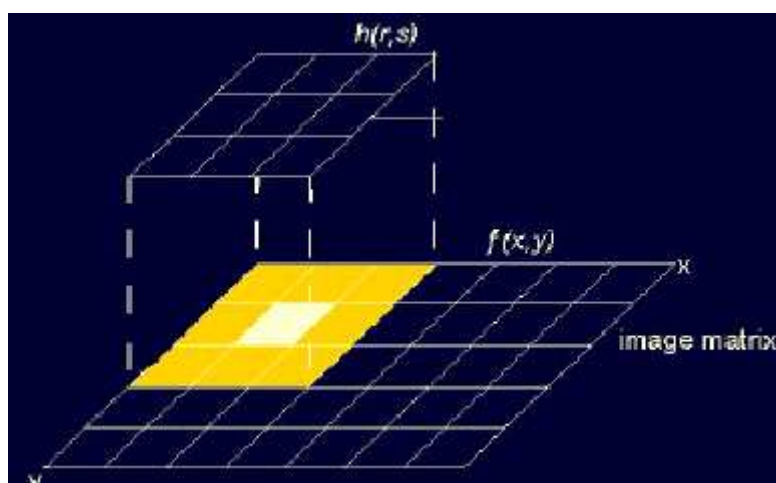
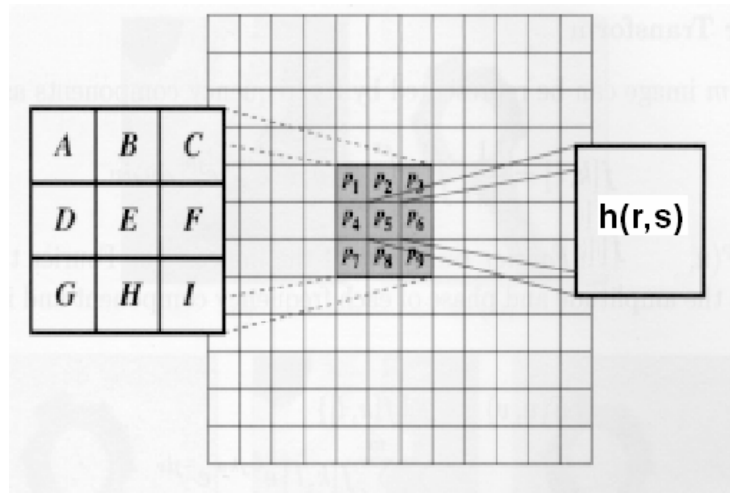


Figura 6: Imagem com um *kernel* de convolução.

Para ser calculado o valor do *pixel*, deve-se multiplicar o *kernel* pelo valor original, em todos os elementos, e então é somado os mesmos, gerando o novo valor para o *pixel* em questão como mostra a Figura 7. Este processo é demonstrado na Equação 9, no qual o valor $h(r,s)$ refere-se ao valor dos pesos no *kernel* de convolução, e a letra p é o valor gerado para o *pixel* (GONZALES, 2000).

$$p = \sum f(x, y) h(r, s) \quad (9)$$



$$h[r, s] = A * P1 + B * P2 + C * P3 + D * P4 + E * P5 + F * P6 + G * P7 + H * P8 + I * P9$$

Figura 7: Exemplo de cálculo de pixel em um processamento de imagem.

Gonzáles, Woods e Eddins (2004) demonstram que existem casos em que o valor calculado para o *pixel* p necessita ser multiplicado por algum valor como mostra a Figura 8 e a Equação 10, a qual W_i refere-se à imagem original e Z_i ao valor dos pesos do *kernel* de convolução, r o valor que será multiplicado e n representa a quantidade de *pixels* da máscara.

$$p = r \left(\sum_{i=1}^n w_i z_i \right) \quad (10)$$

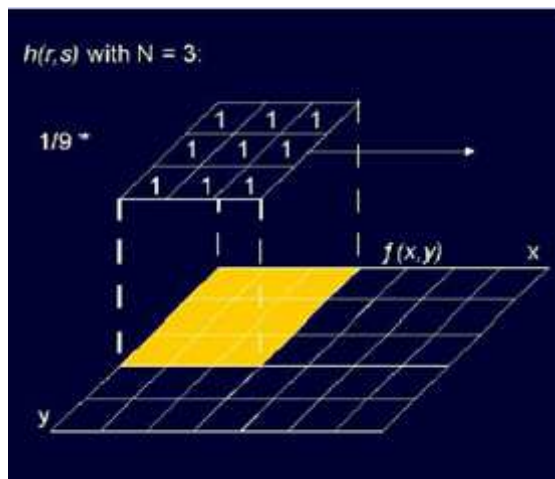


Figura 8: Um valor multiplicando o *kernel*

Uma das técnicas mais utilizadas com a convolução é a detecção de bordas que é descrito no próximo a seguir, a qual possui vários algoritmos para este fim que é descrito no capítulo 2.4.3.

2.4.2 Detecção de Bordas

FACON (1993) afirma que qualquer imagem capturada possui uma falta de nitidez mais especificamente nas bordas e detalhes, os quais representam componentes de alta frequência da mesma. Um método comum de realce de bordas é a utilização de diferenciação que amplifica as altas frequências. Porém não se deve esquecer que ruídos também são realçados nestes casos, pelo fato deste ser um componente de alta frequência, necessitando nestes casos um tratamento preliminar para evitar que os ruídos sejam amplificados na detecção de bordas.

Um operador de diferenciação é baseado sobre a noção de derivada, onde uma imagem $I(x,y)$ é uma seqüência de regiões de tamanhos diversos, onde os níveis de cinza são constantes, e de fronteiras, encontros de várias regiões, marcando uma transição entre elas. Do ponto de vista matemático, as regiões são caracterizadas por derivadas suaves e pouco acentuadas e as fronteiras possuem derivadas fortes e acentuadas.

FACON(2005) demonstra que as técnicas de detecção de bordas mais usadas consiste no processamento de uma imagem a partir de um operador de derivada local, dentre eles as técnicas de gradiente e laplaciano os quais são derivadas de primeira e segunda ordem respectivamente. Estes operadores também são muito utilizados na pesquisa de contornos. A imagem gradiente não fornece diretamente os contornos, pois na pratica ela fornece traços grossos e irregulares. Para obter traços mais precisos e adequados às bordas e contornos, utiliza-se limiarização, o qual a precisão dos traços depende muito dos valores de limiarização e dos cálculos de derivadas. Um valor alto de limiarização resulta em traços finos e mais precisos, porém estes podem em muitos casos ser interrompido, ao contrário de valores mais baixos que resultam em traços completos e linhas parasitas, ou seja, detecção de bordas que não existem. O operador mais utilizado para detecção de bordas é o gradiente sobel que é descrito a seguir.

2.4.3 Gradiente

A informação do gradiente é muito utilizada no processamento de imagens para detecção de bordas, a qual de forma geral possui uma versão digital sobre a informação diferencial. De forma prática e fácil, para se construir uma imagem gradiente deve-se deslizar uma mascara sobre toda imagem original, e em cada *pixel* os valores da máscara são multiplicados pelos *pixels* em nível de cinza dos pontos vizinhos correspondentes a está mascara. A soma da multiplicação representa o valor do operador.

Existem vários tipos de gradiente, dentre os quais o gradiente sobel, prewitt, Laplaciano e Morfológico. O gradiente utilizado nesta dissertação é o sobel, o qual possui a máscara para detecção das bordas verticais mostradas na figura 9e as bordas horizontais na figura 10.

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Figura 9: G_x – Detecção do Gradiente Sobel

1	1	1
0	0	0
-1	-1	-1

Figura 10: G_y – Detecção do Gradiente Sobel

2.5 Morfologia Matemática

A palavra morfologia matemática vem das palavras gregas *morphê* e *logos* que significam forma e ciência respectivamente, ou seja, trata das formas que a matéria pode formar a partir de uma imagem(FACON,1996).

FACON(1996) afirma que a Morfologia matemática surgiu em 1964 em pesquisas de Georges Matheron e de Jean Serra, e deste ano até 1968 foi estabelecido às noções teóricas sobre abertura e fechamento amplamente utilizados em morfologia matemática.

O grande poder destas técnicas está na análise da estrutura geométrica de entidades em uma imagem diz FACON(1993), e o mesmo faz parte do processamento e análise não linear de uma imagem, permitindo processar imagens com objetivo de criar realce, segmentação, detecção de bordas, esqueletização, afinamentos, análise de formas entre outros com algoritmos extremamente precisos, velozes e de fácil implementação.

Existem dois tipos de morfologia matemática: a morfologia binária e a morfologia cinzenta. A morfologia binária se aplica em cima de imagens binárias, ou seja, imagens que possuem somente dois valores para os *pixels* normalmente sendo estes preto e branco. A morfologia cinzenta se aplica a imagens que possuem tons de cinza, normalmente cada *pixel* podendo conter até 256 valores(FACON, 1996).

Na morfologia binária cada *pixels* é analisado com os pixels vizinhos através de uma máscara chamada elemento estruturante. A cada *pixel* então é avaliado se este conjunto está ou não contido na imagem, gerando um rótulo de está contido ou não está contido.

O princípio base destas técnicas consiste em extrair informações de um conjunto desconhecido de uma imagem através de um conjunto conhecido chamado elemento estruturante também conhecido com EE (FACON, 1996).

2.5.1 Elemento Estruturante (EE)

FACON(1996) afirma que o elemento estruturante também conhecido como EE é um conjunto definido e conhecido em seu tamanho e forma, e que é comparado a partir de uma transformação ao conjunto desconhecido da imagem. O resultado destas transformações permite avaliar o conjunto desconhecido como o tamanho e o formato dos objetos desconhecidos através de análise de estar contido ou não no elemento estruturante.

Pode-se verificar que dependendo da posição que o elemento estruturante se encontra em relação a imagem, este elemento está ou não contido no conjunto da desconhecido, e desta maneira podemos encontrar a estrutura geométrica desta imagem. Notamos que na figura 11 em algumas posições o elemento estruturante se encaixa na imagem, ou seja, ele está contido na imagem. Ao mudarmos o formato e tamanho deste elemento teremos respostas diferentes. Então desta maneira podemos constatar que a informação que se quer extrair de uma imagem depende do formato e tamanho do elemento estruturante.

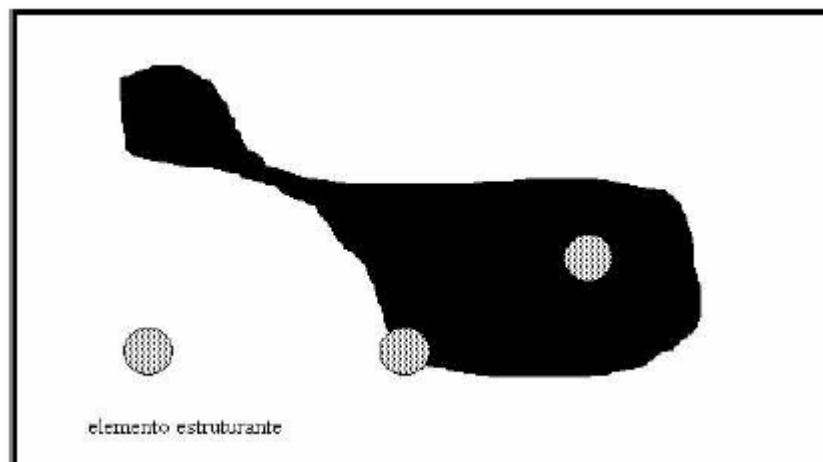


Figura 11: Exemplo de inclusão do elemento estruturante numa imagem binária

Extraído de FACON(2005)

Na forma digital o elemento estruturante será chamado de B e é representado entre “[]” como mostrado na formula 11. Nesta formula o elemento estruturante é representado por *pixels* que o formam e que são representados por “i” e por “x”. Um *pixel* rotulado como “i” é um *pixel* inativo, ou seja, é um *pixel* que não interage com a imagem. Um *pixel* marcado com “x” significa que o mesmo interage com a imagem.

$$B = \begin{bmatrix} i & x & i \\ x & i & x \\ i & x & i \end{bmatrix} \quad (11)$$

Na maioria dos casos o ponto central também conhecido com PC está no centro físico do elemento e não necessita ser mostrado, porém existe casos que o ponto central não é o centro físico do elemento, e este ponto central é denotado por “()”. Para denotar este ponto central necessitamos adicionar o “()” como mostrado na função 12 que mostra o ponto central exatamente no centro físico do elemento estruturante.

$$B = \begin{bmatrix} i & x & i \\ x & (i) & x \\ i & x & i \end{bmatrix} \quad (12)$$

Em todos os processos realizados em morfologia matemática, deve-se posicionar o EE sobre a imagem, passando por todos os *pixels* gerando as respostas sobre todos os *pixels* da imagem original com exceção dos cantos da imagem quando o PC não está posicionado naquele canto do EE.

As operações que FACON(1996) descreve como sendo as principais são: Dilatação, Erosão, Fechamento e Abertura. Estas podem ser implementadas em morfologia binária e cinzenta, porém seu funcionamento é diferente para cada um dos casos. A seguir será demonstrado o princípio básico de morfologia matemática sobre imagens binárias: Dilatação, Erosão, Fechamento e Abertura.

2.5.2 Dilatação

A principal característica da dilatação é aumentar as partículas, diminuir anseadas, preencher pequenos buracos e permitir a conexão entre *pixels* próximos como é mostrado na figura 12 (FACON, 1993). O princípio da dilatação binária é passar por todos os *pixels* da imagem, e onde encontrar um *pixel* é inserido o elemento estruturante na imagem, preenchendo todos os *pixels* marcados nesta máscara.

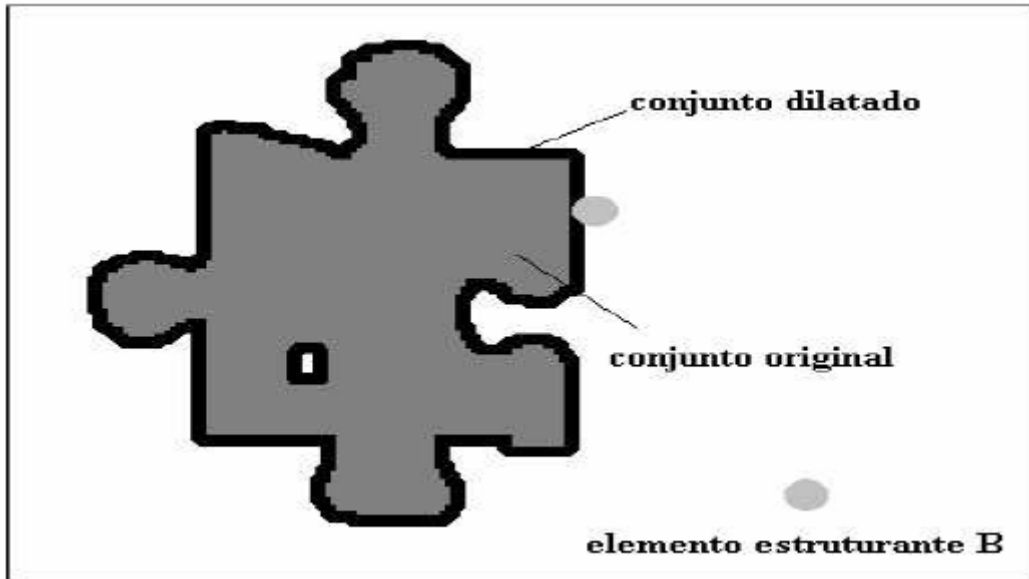


Figura 12: Exemplo de dilatação binária

Extraído de FACON(2005)

A dilatação de uma imagem X mostrada na função pelo elemento estruturante B é definido pela equação 13 conforme é definido por FACON(1996).

$$dil^B [X] = X dil B \quad (13)$$

A imagem X mostrada na equação 14 dilatada por B da equação 15 possui um resultado mostrado na equação 16, a qual nota-se que a imagem resultante possui seus objetos aumentados:

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$B = \begin{bmatrix} i & i & i \\ i & x & x \\ i & x & i \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$dil^B [X] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Para exemplificar a explicação da operação é mostrado na equação 17 uma das transações efetuadas sobre o *pixel* que está localizado na linha e coluna 3 da imagem representada por X.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & [1] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad dil \quad \begin{bmatrix} i & i & i \\ i & x & x \\ i & x & i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Neste exemplo da equação 17 foi possível constatar que em todas as iterações com os *pixels* relevantes de B é gerando na mesma posição da imagem resultante.

2.5.3 Erosão

A principal característica da erosão é diminuir as partículas e anseadas, além de abrir pequenos buracos e permitir a desconexão entre pixels próximos como é mostrado na figura 13 (FACON, 1993). O principio da erosão binária é passar por todos os *pixels* da imagem, e onde encontrar *pixels* na área de imagem que corresponda aos valores representativos no elemento estruturante é marcado na nova imagem com um *pixel* representativo, e caso contrario é marcado como um *pixel* inválido ou sem valor.

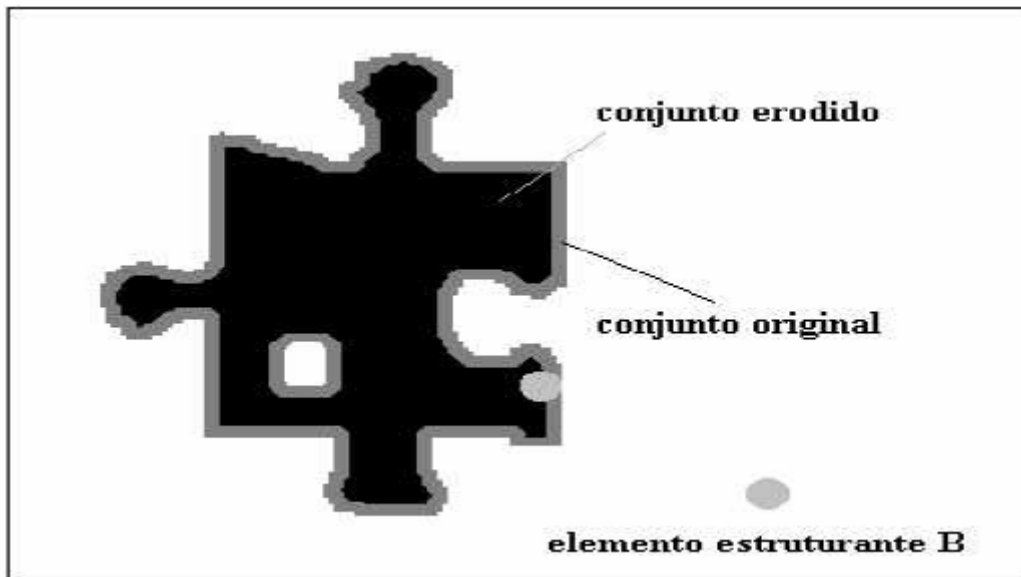


Figura 13: Exemplo de Erosão Binária

Extraído de FACON(2005)

A erosão de uma imagem X pelo elemento estruturante B é definido pela equação 18 conforme é definido por FACON(1996).

$$ero^B [X] = X \text{ ero } B \quad (18)$$

O resultado da imagem X da equação 19 erodida pelo elemento estruturante B da equação 20 é mostrado na equação 21. Nota-se que a imagem resultante possui seu objeto diminuído e em muitos casos o objeto é removido da imagem:

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$B = \begin{bmatrix} i & i & i \\ i & x & x \\ i & x & i \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$ero^B [X] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Para exemplificar a explicação da operação é mostrada na equação 22 uma das transações efetuadas sobre o *pixel* que está localizado na linha e coluna 2 da imagem X a qual é a única que retorna o rótulo iterativo com a imagem.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & [1] & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ ero } \begin{bmatrix} i & i & i \\ i & x & x \\ i & x & i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Neste exemplo da equação 22 foi possível constatar que em todas as iterações são analisados os *pixels* relevantes na imagem e comparado com os *pixels* do elemento estruturante, e quando os mesmos são válidos é marcado na imagem resultante o *pixel* como válido.

2.5.4 Fechamento Binário

Quando for executada uma operação de dilatação seguida de uma erosão estamos executando na verdade uma operação de fechamento binário. Este processo tem o objetivo de fechar buracos indesejáveis em objetos sem aumentar o tamanho do mesmo.

O fechamento de uma imagem X pelo elemento estruturante B é definido pela equação 23 conforme defini FACON(1996).

$$fec^B [X] = X fec B \quad (23)$$

O detalhamento da equação de fechamento de uma imagem X pelo elemento estruturante B é definido pela equação 24 o qual é demonstrado que o fechamento é composto de uma dilatação seguida de uma erosão conforme descreve FACON(1993).

$$fec^B [X] = [X dil B] ero B \quad (24)$$

Verifica-se como será mostrado que o fechamento de um objeto detectado possui o mesmo tamanho, porém com o fechamento dos buraco que o mesmo continha. Esse exemplo que será mostrado está baseado na imagem representada por X da equação 25 e do elemento estruturante B da equação 26.

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$B = \begin{bmatrix} x & x & x \\ x & x & x \\ x & x & x \end{bmatrix} \quad (26)$$

O primeiro processo consiste em dilatar a imagem X da equação 25 pelo elemento estruturante B da equação 26 com o resultado mostrado na equação 27.

$$X \text{ dil } B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

O ultimo passo é pegar o resultado mostrado na equação 27 a qual possui uma dilatação da imagem X pelo elemento estruturante B e erodir o mesmo pelo elemento estruturante B o qual possui a resposta na equação 28:

$$[X \text{ dil } B] \text{ ero } B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (28)$$

Pode-se notar no resultado obtido na equação 28 possui o objeto da imagem X que continha um buraco, ou seja, um *pixel* com valor zero, resulta em uma imagem sem esta falha a qual foi totalmente eliminada sem comprometer o tamanho inicial do objeto.

Este processo utilizado pode ser gerada com muitas outras técnicas, porém com extrema complexibilidade de implementação, o que não ocorre em morfologia matemática que exige um processamento extremamente baixo.

O primeiro passo deste processo consiste em erodir a imagem X pelo elemento estruturante B como é mostrado na equação 33.

$$X_{ero}B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (33)$$

O ultimo passo do processo é utilizar o resultado da equação 33 e dilatar pelo elemento estruturante B resultando a equação 34

$$[X_{ero} B] dil B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (34)$$

Pode-se notar no resultado obtido da equação 34 criou aberturas na imagem da equação 31 a qual não continha nenhuma falha de *pixels*, ou seja, nenhum *pixel* com valor zero. O Resultado obtido possui praticamente o mesmo tamanho do objeto inicial, porém com a remoção dos cantos do mesmo pelo fato do elemento estruturante não possuir os cantos.

Este processo utilizado por outras técnicas é considerado extremamente complexo, porém como visto pode ser implementado facilmente e possuir pouca exigência de processamento.

2.6 Automação Industrial

A automação industrial nos dias atuais é a composição de hardware e software em uma magnitude muito grande, com a utilização de vários equipamentos para o controle do processo. Existem varias técnicas utilizadas para automatizar os processos industriais, dentre estas existe a utilização de visão computacional ou robótica que é utilizada nesta dissertação.

Para o desenvolvimento de um processo automatizado utiliza-se vários equipamentos, os quais pode-se classificar em vários tipos, dentre estes muitos são utilizados no sistema proposto. Os principais equipamentos utilizados para construir o ambiente proposto são descritos a seguir, passando pelos sensores, CLP, câmeras e lasers

2.6.1 Sensores

Romano(2002) descreve como estes sendo equipamentos que fornecem informações para controlar o ambiente, as quais podem gerar informações de diversos sentidos, como por exemplo, a distância entre a máquina e o objeto, a posição da máquina, o contato da maquina com algum objeto, a força exercida sobre um objeto, a temperatura, a cor, a textura, entre outros. O autor simplifica sensor como sendo um dispositivo para detecção de fenômenos físicos que envia essas informações para um equipamento de controle.

Os sensores são atualmente encontrados em praticamente todos os campos de atividades existentes, sendo que muito deles usados em sistemas embarcados sofisticados. Basílio(2002) descreve como sendo a principal tarefa de um sensor a conversão de uma grandeza física em um sinal elétrico que pode ser lido e processado através de circuitos eletrônicos.

A detecção de objetos por um sensor pode ser feita por diversas técnicas, com diversas tecnologias, e o mesmo depende da distância e velocidade de medição.

Romano(2002) afirma que os principais tipos de sensores que detectam objetos são: sensores magnéticos e sensores ópticos.

Os sensores ópticos infravermelhos de baixa potência possuem um emissor e um receptor de luz no mesmo aparelho, porém o mesmo necessita de um espelho refletor para enviar o sinal de volta para o sensor como é mostrado na figura 14.



Figura 14: Sensor óptico infravermelho



Figura 15: Sensor magnético por efeito Hall localizado em uma engrenagem de uma esteira

Os sensores magnéticos por efeito Hall detectam somente objetos ferrosos a distância muito pequenas. O seu principal funcionamento se baseia no efeito Hall, que utiliza a variação de corrente de Lorentz quando um objeto metálico está próximo do metal. Normalmente são utilizados na indústria para detectar o movimento de esteiras através do sensoriamento da engrenagem como é mostrado na figura 15.

2.6.2 CLP – Controlador Lógico Programável

RICHTER(2001) descreve que os Controladores Lógicos Programáveis ou CLPs surgiram para substituir os painéis de controle de relés na década de 60, porém com uma grande vantagem, pois podem ser reprogramados ao contrário dos painéis que necessitam modificação de fiação, o que na maioria das vezes torna este processo inviável, ocasionando a sua substituição por um novo painel mais barato do que a manutenção do mesmo. Atualmente os CLPs estão em muitos casos sendo substituídos pelos FPGAs visto que estes podem integrar componentes extremamente complexos como CPUs inteiras.

RICHTER(2001) afirma que existe uma grande tendência na utilização destes equipamentos para controle de pequenos processos na indústria, e estes se comunicando com sistemas supervisores mais complexos, fazendo desta maneira descentralizar o controle industrial, evitando assim que um problema pare uma indústria inteira.

Estes equipamentos possuem comunicação com o meio exterior através de portas de entrada e saída, as quais recebem e enviam sinais de sensores e atuadores.

As entradas do CLP ou mais conhecidos como Ponto de Entrada são portas que recebem sinais dos componentes externos, normalmente sensores. Os pontos de entrada podem ser digitais ou analógicos, os quais quando digitais recebem o sinal em apenas dois estados: ligado ou desligado. Já os pontos de entrada analógicos recebem o sinal em mais de dois estados, onde o número de estado depende muito do conversor utilizado para este fim.

Cada sinal produzido pelo CLP para acionar dispositivos ou componente(atuadores) constitui uma saída ou Ponto de Saída como é mais conhecido. Estes sinais a exemplo do Ponto de Entrada também podem produzir sinais digitais ou analógicos.

Para comunicação com os sensores deve-se ter muito cuidado principalmente com a interferência elétrica induzida por cabos de força e de acionamento pelo fato dos níveis de tensão e correntes ser extremamente baixos eles se tornam muito suscetíveis a interferências.

Para comunicação com as saídas deve-se ter o mesmo cuidado que se tem com as entradas visto que a tensão e corrente utilizados pelo mesmo são extremamente baixos.

Para controlar os equipamentos o CLP possui linguagens de programação, onde as mais utilizadas são Linguagem de Relés e Blocos (Ladder) e Linguagem de Diagrama Esquemático. Com estas duas linguagens praticamente todos os tipos de controle são possíveis em um projeto industrial.

Os CLPs mais novos podem ser expandidos tanto no número de entradas quanto em número de saídas gerando assim um equipamento com grande poder de controle industrial.

2.6.3 Câmeras

Do grego “*phótos*” que significa luz e “*grafos*” que significa escrita, originou-se a palavra fotografar, que consiste em registrar imagens a partir de raios luminosos independentes da tecnologia utilizada para este fim.

Atualmente existem dois tipos de câmeras, as analógicas e as digitais, onde está última é descrita na seqüência.

2.6.3.1 Câmeras Digitais

Nas câmeras digitais, o sensor se assemelha à dimensão do fotograma das câmeras analógicas, ou seja, o sensor determina a capacidade de ampliação de uma imagem.

Nas câmeras digitais não há padronização, o custo é relativamente alto, onde a resolução e a velocidade de geração de imagens é extremamente alta, com taxas que vão até 250.000 *frames* por segundo.

Existem diversos programas que realizam o trabalho de edição que tem por objetivo corrigir os defeitos da imagem e, ainda, melhorar a qualidade através do uso de filtros ou efeitos especiais.

As câmeras digitais possuem vários recursos como o zoom ótico que é recurso físico da objetiva e se assemelha ao zoom real. O zoom digital, que é obtido por um software interno à câmera, que amplia digitalmente a imagem registrada no sensor, aumentando o tamanho dos pixels ocasionando, com isso, perda de qualidade. Filtros que corrigem as distorções de cores e o balanço de branco. Fotos em cores, preto-e-branco ou sépia, foto envelhecida.

Quatro componentes interagem para que a imagem seja fielmente capturada pelo sensor, nas câmeras digitais e pelo filme, nas câmeras analógicas: objetiva, obturador, diafragma e fotômetro.

A objetiva capta e conduz a luz para o sensor / filme. O conjunto de lentes da objetiva é responsável pelo foco da imagem.

É através do *diafragma* que a luz entra na câmera e, depois de atravessar o *obturador* chega até o sensor / filme. O *diafragma* é formado por uma série de lâminas que se sobrepõem e formam um orifício por onde passa a luz. O *obturador* determina o tempo entre a entrada da luz pela abertura do *diafragma* e a chegada no sensor ou filme. Esse tempo é determinado de acordo com a luminosidade da imagem, ou seja, quanto mais clara a imagem, menor o tempo do *obturador* aberto.

O *fotômetro* faz a melhor combinação *diafragma-obturador* de acordo com quantidade de luz existente no exterior da câmera.

Nas imagens em tons de cinza, a representação pode ser de até 8 bits, ou seja, 256 tons de cinza (2^8). Para as imagens colorida geralmente utiliza-se o modelo de codificação de cor de três canais de cores, RGB (*Red, Green, Blue*).

Nas câmeras digitais a imagem é registrada pelo sensor CCD ou CMOS, depois armazenada no cartão de memória, dispositivo físico externo que deve ser inserido na câmera.

2.6.3.2 CCD

Criando nos anos 70 por Boyle e Smithé, inicialmente como um chip de memória, o Dispositivo de Carga Acoplada (*Charge Coupled Device – CCD*) mostrado na figura 16, perdeu seu espaço no mercado devido à superioridade das técnicas de armazenamento que iam surgindo. Porém, a partir de 1973, ano em que passou a ser comercializado, tornou-se o único e o melhor sensor de registro de imagens captadas pelas lentes das câmeras digitais.

CCD é um chip semicondutor, de Silício (ou de Germânio no caso de captação de raios infravermelhos) que converte sinais de luz visível em sinais elétricos. É um elemento fotossensível organizado como uma matriz, uma grade de pixels, que determina a resolução da imagem, ou seja, o número de pixels que forma a imagem. Essa matriz é lida por um circuito eletrônico, horizontalmente, da esquerda para a direita e de cima para baixo, produzindo um sinal analógico. Esse processo requer consideráveis circuitos externos de sincronização que consomem espaço e energia.

A corrente elétrica gerada passa por um dispositivo interno à câmera – conversor Analógico-Digital – que realiza o *sampling*. O *sampling* é o processo de digitalização de um sinal analógico, que analisa, em intervalos regulares, a onda gerada por este sinal sobre o CCD, e convertem em números, as informações nela contida, como luminosidade e cor. Após este processo a imagem resultante é digitalizada.

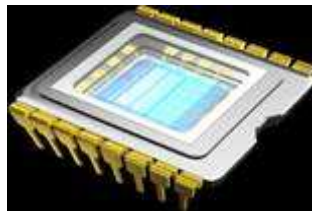


Figura 16: Modelo de um CCD

A FujiFilm criou a tecnologia Super CCD, no qual os pixels têm formato octogonal, isto é, ficam entrelaçados de forma que não deixam espaços e, segundo eles, a definição da imagem é superior, pois permitem maior eficiência na captura da luz, com cores mais vivas.

Apesar do excelente desempenho, os CCDs exigem circuitos eletrônicos sofisticados e alto consumo de energia para o seu funcionamento além de serem maiores que os chips CMOS.

2.6.3.3 CMOS

Semicondutor de Óxido Metálico Complementar (*Complementary Metal Oxide Semiconductor* - CMOS) mostrado na figura 17 é um chip de imagem semelhante aos chips do tipo CCD. Formados por uma grade de *pixels*, de elementos fotoelétricos, gerando cargas elétricas que, após lidas pelo sensor, devem passar pelo processo de conversão analógico-digital.

Os sensores CMOS foram inicialmente desenvolvidos para aplicações que não exigiam alta qualidade, mas exigiam baixo custo e um tamanho reduzido. De acordo com as características exigidas, desenvolvidas e apresentadas pela tecnologia CMOS, a Kodak, inicialmente, começou a desenvolver esses chips para aplicações mais exigentes.

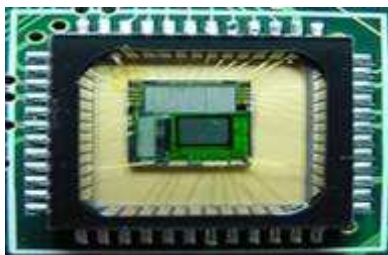


Figura 17: Modelos de um CMOS

Portanto, se compararmos os dois chips, o CMOS é menor, o que possibilita que as câmeras também sejam menores, o consumo de energia é menor, pois utilizam um menor número de elementos eletrônicos na sua montagem, reduzindo os custos de fabricação, e apresentam menos ruído na imagem, pois utilizam amplificadores de voltagem dentro de cada pixel, ao contrário do CCD, onde o sinal de cada pixel passa para seu vizinho até chegar em um único amplificador, além de apresentarem uma resistência bem maior aos raios cósmicos. Outra diferença significativa consiste no fato do processo de captura da imagem, o processamento do sinal e a conversão analógico-digital serem executados dentro do próprio CMOS, enquanto que o CCD necessita chips paralelos para executar essas funções.

No entanto, na sua maioria, a qualidade da imagem gerada pela tecnologia CMOS ainda é inferior à imagem gerada por chips CCD, que apresentam uma resolução superior dos tons de luminosidade e de cores.

2.6.4 Lasers

Allen(1969) afirma que a palavra laser é um acrônimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, e isto significa a amplificação da luz por emissão estimulada de radiação. Reiss(2007) descreve que a luz emitida por um dispositivo a *Laser* possui somente um comprimento de onda, sendo considerada monocromática, ao contrário de fontes de luz comuns as quais possuem iluminação em todos os comprimentos de ondas visíveis. Em muitos casos a radiação eletromagnética gerada por um emissor a Laser está em uma faixa do espectro eletromagnética que não é visível ao ser humano. A luz que é emitida sobre uma superfície possui partes que são absorvidas, partes refletidas e o restante transmitidas.

A utilização de *lasers* para varreduras é considerado muito rápido e não necessitam o contato direto com o objeto, possibilitando que superfícies frágeis possam ser medidas com muita facilidade.

Reiss(2007) afirma que os sistemas de varredura a *laser* não funcionam muito bem em superfícies muito polidas, reflexivas ou com objetos escuros.

3 SISTEMA ATUAL

A indústria estudada possui um sistema de classificação de área útil dos *blocks*, e este utiliza visão humana e visão computacional para o processo. Existem muitos problemas com estes métodos utilizados, visto que os mesmos geram muitas peças defeituosas, principalmente quando as peças possuem defeitos de difícil visualização. A seguir são descritos os passos deste processo utilizado atualmente, os maiores problemas encontrados neste método e todos os equipamentos envolvidos.

O processo atual inicia quando as toras de madeira chegam a serraria e passam pela descascadora as quais tiram a casca destas.

Na seqüência estas madeiras são serradas em três partes divididos em um bloco e duas costaneiras.

Cada bloco então é dividido em três tábuas e as costaneiras de um até três tábuas. Depois deste processo, cada parte é refilada para eliminar a maior quantidade de esmoado possível, sendo posteriormente classificadas por largura e espessura.

Esses grupos classificados são separados e, então, são posteriormente enviados para as estufas onde passam até 80 horas para retirada de umidade.

Após ser retirada a umidade, as tábuas são plainadas para terem tamanhos padronizados de acordo com especificações interna da fábrica. Essas placas seguem então para as destopadeiras onde são manualmente cortados em nós, também conhecidos como *blocks*.

Existem vários operadores das destopadeiras, onde cada operador recebe tábuas e as separam em *blocks* de peças *clear*, lixo ou falhas.

As peças *clear* são consideradas peças perfeitas e são enviadas diretamente para as emendadeiras onde são unidos em *blanks* que são peças de tamanho padronizado para ser produzida a moldura. Esses *blanks* são passados pelas moldureiras e posteriormente pintados. Os nós classificados como lixo são enviados para serem utilizados nas estufas como lenha ou vendidas para este mesmo fim. Estes *blocks* não podem ser utilizados para produção de molduras, pois os mesmos possuem muitas falhas em ambos os lados ou são tão pequenos que não se aplica nenhuma moldura produzida pela empresa em um *block* do tamanho útil. Os nós considerados falhas como mostrado na figura 19 são enviados para uma linha de classificação visual, através de um sistema de visão computacional mostrado na figura 18 e de visão humana.

Primeiro os *blocks* passam por um sistema que tenta identificar possíveis falhas nas peças, e as que possuem mais da metade de área útil então são enviados para serem analisados através da visão de operadores treinados para a classificação, onde as peças que o operador considerar realmente maior que a metade do tamanho útil então é serrado ao meio. O restante é classificado como lixo e enviado como lenha para as estufas de secagem ou então vendidas com o mesmo objetivo.

Porém com o processo funcionando desta maneira existem muitos erros humanos e do sistema de visão atual, causando várias falhas no final do processo, pois após serem enviadas para as emendadeiras de doze a dezesseis *blocks* são emendados e então viram uma única peça conhecida como *blank*. Em um exemplo onde fossem construídas cem peças pelas emendadeiras, nove *blocks* classificados erradamente com tamanho maior do que realmente possuem, podem gerar até nove peças erradas, conseqüentemente até nove por cento da produção teria defeito e seriam descartadas pelo controle de qualidade, causando um alto índice de produtos eliminados pelo sistema. O sistema de visão atual utiliza média de comprimentos de onda para classificar esmoados nas peças, método que possui muita falha de leitura, principalmente em peças com esmoados sem casca como o mostrado na figura 20, fazendo com que muitas peças boas sejam rejeitadas pelo sistema e muitas peças com falhas passem para serem classificadas pelos operadores. Este sistema utiliza três câmeras e três computadores para fazer a leitura das

falhas nos *blocks*. As câmeras são posicionadas de tal forma que uma câmera fique na parte superior e as outras duas nas laterais das peças conforme é mostrado na figura 17, técnica está utilizada para tentar amenizar os erros de classificação deste sistema.

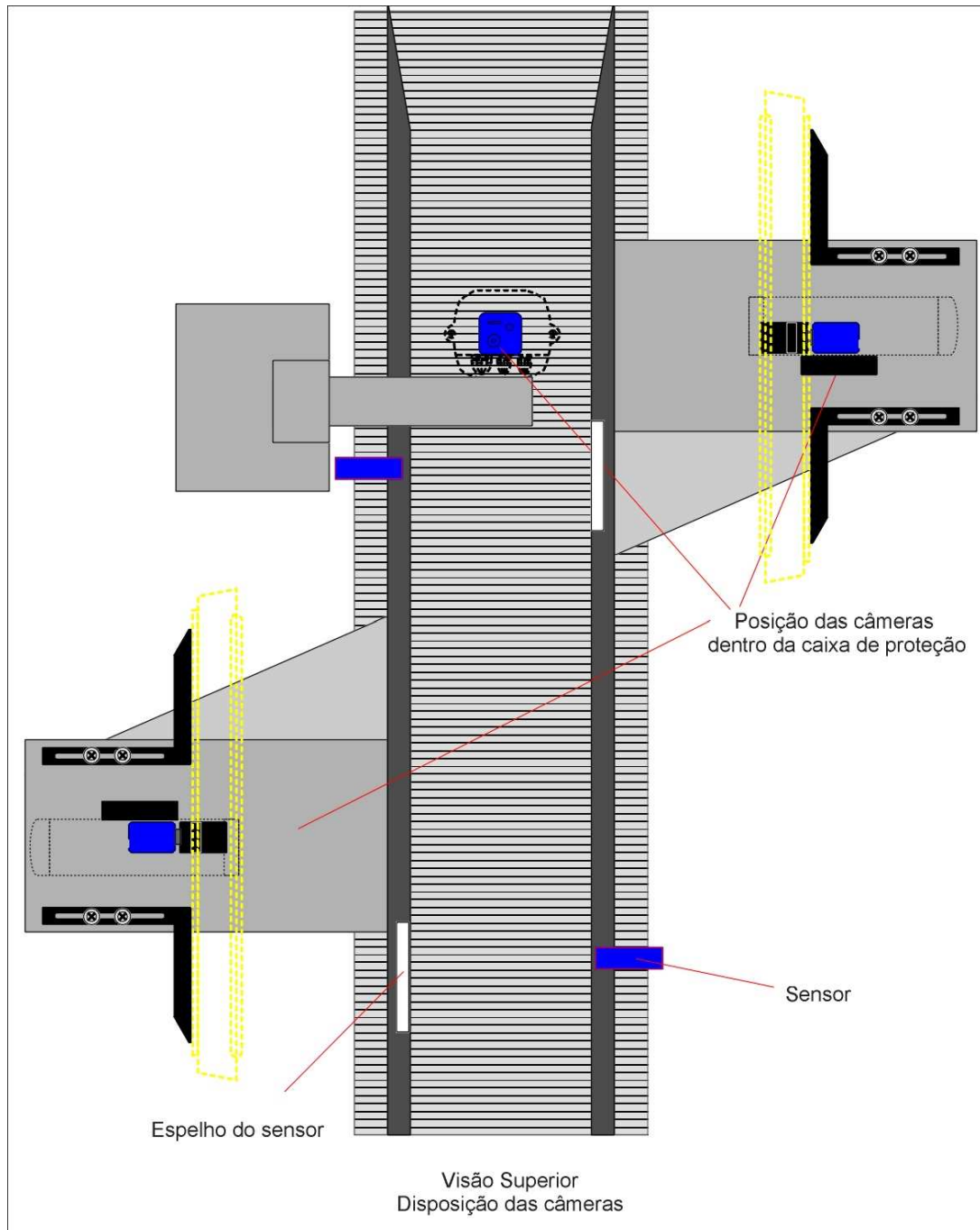


Figura 18: Sistema Atual de Visão Computacional.



Figura 19: Peça com esmoado no lado direito e com casca.

Os *blocks* possuem no mínimo 61 (sessenta e um) até no máximo 74 (setenta e quatro) milímetros de largura, sendo que a altura da peça pode variar de acordo com o tipo de moldura que se deseja produzir. Atualmente nesta indústria existem aproximadamente 1500 perfis de molduras que são fabricados. Em um mesmo processo, todas as peças possuem a mesma altura e a largura, variando seu comprimento de acordo como foi serrado manualmente nas destopadeiras, então existe vários perfis de utilização dos nós, pois isso dependerá dos tamanhos dos *blocks* que estão passando na linha naquele instante.



Figura 20: Peça de madeira com esmoado sem casca.

Este trabalho visa verificar a possibilidade de utilização de equipamentos e algoritmos de processamento de imagens para gerar informações sobre o tamanho útil das peças, classificando-as entre vários tamanhos pré-estabelecidos pela empresa eliminando o fator humano na classificação dos *blocks* e aumentar a confiabilidade do processo. O sistema atual deve ser substituído pelo sistema proposto que deve classificar as peças em tempo real de acordo com sua largura útil e enviar essa informação ao CLP que já existe no processo atual, o qual fica responsável pela separação das peças. Essa interface do CLP já está implementada, porém não é utilizada atualmente, pois a indústria anteriormente utilizava a classificação humana para todas as peças, onde o operador apertava um botão referente ao tamanho da peça. Este processo manual se mostrou muito falho e foi abandonado logo no seu início, sendo substituído pelo sistema atual que passa pelo sistema de visão computacional e após a visão humana. Seria muito vantajoso para esta indústria poder utilizar esses equipamentos que foram construídos e estão sendo utilizados pelo sistema atual, principalmente se as falhas forem baixas.

Para determinar quando os *blocks* estão passando sobre a esteira é utilizado dois sensores com espelhos, sensores que recebem a reflexão e são acionados quando não possui esta reflexão. Para o CLP determinar o tamanho médio da peça, utiliza-se um sensor na engrenagem do equipamento como é mostrado na figura 21, que mostra que o sensor funciona através das falhas das engrenagens. O CLP necessita saber o tamanho médio da peça para que ele possa acionar o atuador que está ligado em um equipamento que separa a peça através de um empurrão em torno da metade da peça. Sem saber um local aproximado do meio do *block* não seria possível a separação das peças.



Figura 21: Sensor localizado na engrenagem da esteira.

Para a captura das imagens foi utilizada uma câmera da marca KODO com uma lente de 6X60 mm mostrados na figura 24, a qual foi regulada para capturar a maior área possível e sem ganho de gama.

A iluminação do ambiente utiliza três lâmpadas de 18 watts em cima das câmeras lateral, não necessitando lâmpadas diretamente ligadas a câmera superior pelo

fato da mesma estar alinhada com uma das câmeras laterais a qual já possui suas lâmpadas.

Para aquisição das imagens é necessário possuir *frame grabber*, o qual foi utilizado um do modelo Pícolo Pro II, o qual possui treze portas IO(entrada e saída) para comunicação com os sensores e o CLP. Estas entradas e saídas possuem uma interface com o ambiente externo através de um conector que recebe um cabo como é mostrado na figura 23.



Figura 22: CLP - Controlador Lógico Programável utilizado na separação

Para a comunicação direta com os sensores e com o CLP, utilizou-se uma placa que possui treze relés ligados diretamente aos IO da placa de captura. Além dessas entradas e saídas esta placa possui quatro canais de captura de vídeo, porém somente um dos canais é utilizado pelo sistema atual devido ao alto índice de processamento envolvido neste processo de classificação de esmoado. O sistema recebe um sinal por uma das IOs da placa *frame grabber* informando que uma peça está passando, e enquanto este sinal está sendo enviado o sistema fica capturando as imagens e

processamento as mesmas. O sistema analisa todas as imagens e identifica o ponto onde deve possuir o maior esmoado e envia esta informação para o CLP. O CLP após receber as informações da peça que acabou de passar pelas câmeras, gera uma classificação para esta, e quando o *block* está no local correto para a separação o CLP envia um sinal para o separador ser acionado e tirar a peça para a classificação como lixo ou peça com a metade de área útil.

Após este processo de separação, as peças que foram classificadas como tendo uma área útil boa são classificadas por operadores de forma visual, onde o operador classifica as peças como 25% de área útil, 50% de área útil ou lixo. O grande problema é que este sistema não tem um índice confiável de acerto, gerando uma grande perda e um alto custo de produção principalmente pelo fato da visão humana não conseguir acompanhar um *block* que passa muito rápido pela esteira e também por que a classificação tem que ser feita em fração de segundos, o que dificulta ainda mais o processo, gerando um grande índice de erros no processo.

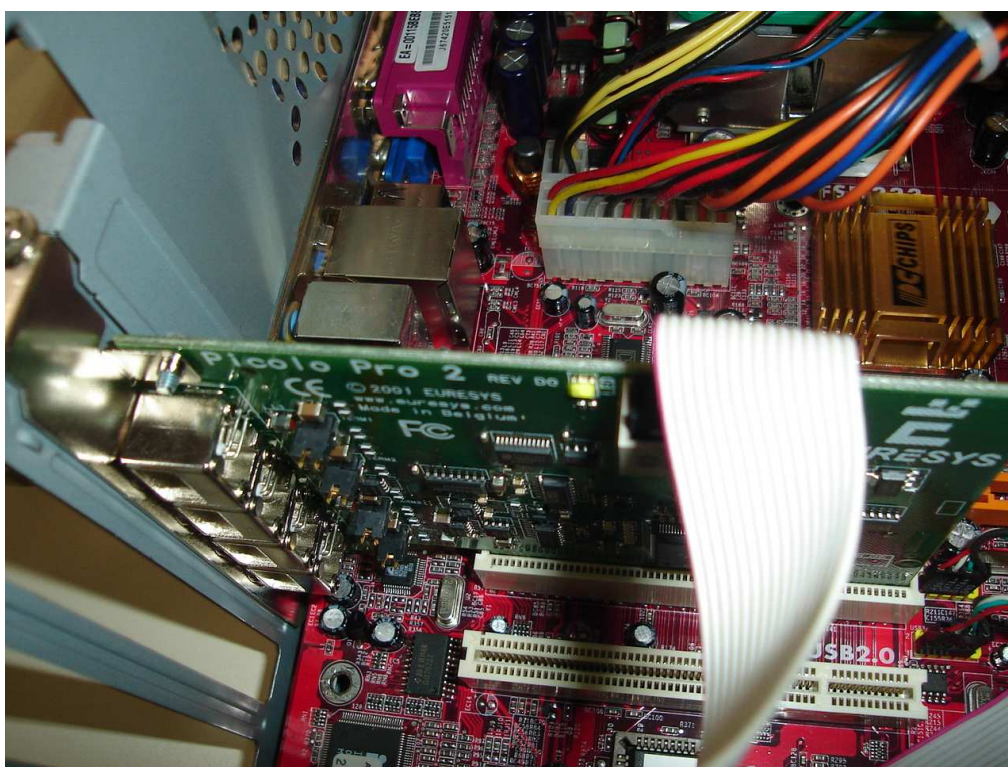


Figura 23: Frame Grabber Picolo Pro II (4 canais)

Nos testes realizados, 881 *blocks* deveriam ser classificados como tendo 50% de área útil, porém destes somente 529 foram classificados com este tamanho, outros 225 foram classificados com 25% de área útil e 17 como sendo lixo. Neste teste, pode-se notar que tivemos perda total de 1,92% e perdas parciais de 38,02%. Neste teste, 1042 *blocks* deveriam ser classificados como tendo 25% de área útil, porém apenas 915 foram corretamente classificados, outros 14 foram analisados como tendo 50% de área útil o que gera um problema grande na fabricação. Destes 1042 *blocks*, 81 destes foram classificados como lixo. Neste teste dos *blocks* com 25% de área útil tivemos muitos problemas, principalmente pela classificação a maior, visto que isso agrava o problema, pois na média de 14 *blocks* são necessários para produzir uma moldura, acarretando o numero de erros ser multiplicado por 14, gerando assim uma perda médio de 277 destes *blocks*, onde 81 viraram lixo e outros 196 são da classificação a maior.

Mesmo que a esteira fosse mais lenta, o processo se mostrou com índice muito grande de perda, além do custo de produção aumentar por causa do aumento de funcionários que teriam que ser envolvidos neste processo.

Em testes realizados com um total de 1933 *blocks*, o sistema teve 14 erros graves de classificação causando uma perda de 14 produtos que seriam classificados erradamente, causando um desperdício de até 224 *blocks* dos 1921 processados. Esta quantidade somada com as 128 que foram classificados como lixo gera uma perda de até 352 peças as quais representam 18,32% de perda de matéria prima se comparado ao total de matéria prima útil, o qual soma 1921 peças.



Figura 24: Câmera KODO e lente com abertura 6x60mm

4 SISTEMA PROPOSTO

O sistema proposto neste trabalho consiste no melhoramento do sistema já existente, porém com uma melhor classificação e diminuição de custos e desperdícios no processo.

O novo processo proposto consiste na utilização de processamento de imagens na classificação dos *blocks*, porém esta classificação deve ser feita através da análise de linhas lasers projetadas sobre as peças, ao invés da utilização de médias de reflexão de iluminação utilizadas no sistema atual.

Facon (1993) mostra que para detecção de objetos em 3D o método mais fácil de utilização é através de lasers projetados sobre os objetos como é mostrado na figura 25. As linhas lasers mudam de direção sempre que não existe continuidade no objeto, o que se mostra muito útil para detecção de falhas nas peças.

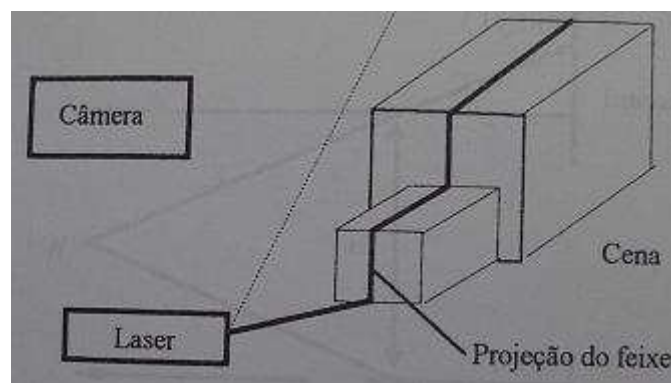


Figura 25: Exemplo de iluminação de linhas lasers sobre objetos

Extraído e adaptado de FACON1993

Com a iluminação a laser é possível verificar com uma precisão muito maior a localização onde existe alteração de altura do objeto analisado, criando um mapa em três dimensões da imagem.

Gera-se uma maior precisão na localização do esmoado com esta técnica, visto que quando estes defeitos aparecerem, os lasers projetados sobre o *block* vão mudar de direção mostrando as câmeras uma precisão muito boa sobre o tamanho da falha.

4.1 Ambiente simulado

Este trabalho visa à criação de um ambiente para a classificação do tamanho útil da madeira serrada na fabricação de molduras por uma indústria brasileira.

Para não alterar a planta produtiva sem a comprovação da eficácia das técnicas desta dissertação, projetou-se um ambiente simulado para este fim. Para desenvolver o ambiente simulado é necessário a utilização de vários equipamentos de hardware e software, dos quais em conjunto classificam os *blocks*. O ambiente desenvolvido utiliza vários equipamentos, dentre os quais esteira, câmera, lasers, sensores, iluminação controlada e CLP, os quais sua montagem é mostrada na figura 26.



Figura 26: Ambiente simulado no sistema proposto

4.1.1 Esteira

Os primeiros testes realizados foram feitos com uma esteira em uma velocidade de 15 metros por minutos, e teve um desempenho bom, porém analisando as imagens, notou-se que era capturado muitas imagens por segundo, gerando demasiadas imagens, incluindo imagens com aparências praticamente iguais. De posse destas informações foi feito uma análise da velocidade que a esteira deveria funcionar. Porém sabia-se que para a esteira rodar mais rápido seria necessário a inclusão de um inversor de frequência, e este foi adicionado a esteira criando um processo mais rápido. Com este inversor foi possível à esteira mover-se a aproximadamente 40 metros por minuto. Nos testes realizados a seguir, notou-se que esta velocidade era muito alta, não sendo possível capturar os lasers por toda o comprimento das peças. Foi feito então um ajuste no inversor de frequência para que o transporte dos *blocks* para classificação se movimente a uma velocidade uniforme de 35 metros por minuto. A esteira do ambiente produzido mostrado na figura 27 neste trabalho possui 1,80 metros e é alimentado de forma manual por um operador do equipamento, visto que este ambiente é para simulação do processo real.

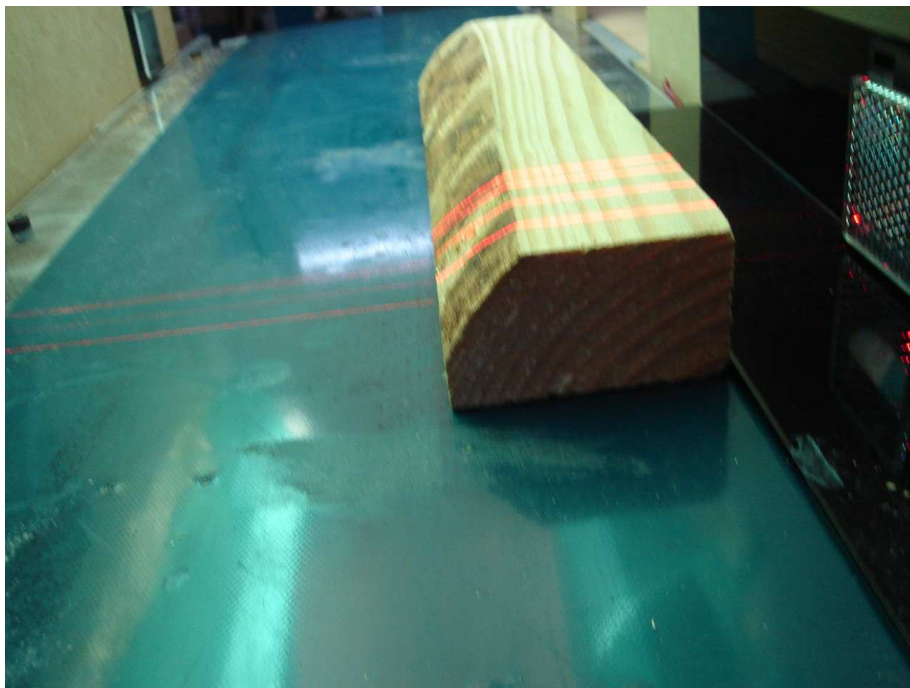


Figura 27: Esteira com um *block* em movimento

A simulação deste sistema foi feita com alimentação com os *blocks* possuindo uma distância entre os *blocks* de no mínimo 40 centímetros. No processo atual utilizado pela empresa, os *blocks* passam com no mínimo 63 centímetros entre os *blocks*, o que dá para este sistema proposto um desempenho melhor.

4.1.2 Câmeras

O processo utilizado atualmente usa três câmeras para captura de imagens, porém nos testes realizados pelo processo proposto foi possível constatar que este pode utilizar somente uma câmera.

Com uma quantidade menos câmeras o processo diminui os custos se comparado ao processo utilizado atualmente na indústria visto que diminui também o custo em outros equipamento utilizados no sistema atual, já que estes dependem da quantidade de câmeras.

Computadores, placas de IO e Frame Grabber diminuem a quantidade para uma peça de cada, pois para cada câmera necessitamos de um computador, uma placa de IO e um Frame Grabber.



Figura 28: Câmera Kodo e painel de configurações

Na figura 28(a) é mostrada a câmera Kodo KC-612DNHe com sensor CCD e a lente utilizada neste processo, sendo que a utilização deste deve-se principalmente pelo

fato destes equipamentos já existirem no processo atual, não necessitando comprar novos equipamentos. Esta câmera possui funções de ajuste de gama, autoganho, Night Automático e outras funções como é mostrado na figura 28(b). Estas funções devem ser desabilitadas, pois as duas primeiras alteram o modo da captura da radiação eletromagnética, e então não é possível a análise das imagens com *thresholds* fixos. A função night também deve ser desabilitada, pois está é utilizada somente quando se quer capturar imagens em tons de cinza em um único comprimento de onda principalmente através de iluminação infravermelha. Para a captura das imagens e detecção dos lasers é necessária a captura das imagens coloridas, pois necessitamos a análise em mais de um comprimento de onda da radiação eletromagnética.

Nos testes realizados, notou-se nos primeiros testes que a captura das imagens necessita de um ambiente com iluminação controlada, pois a alteração da radiação eletromagnética projetada sobre o ambiente influencia diretamente na qualidade das imagens, proporcionando ruídos e reflexos nas imagens capturadas, além de dificultar a detecção de padrões nos *blocks*.

O sistema capturará as imagens com base em um sensor de posição que detecta quando um *block* passa na frente da câmera, sensor este que é descrito a seguir.

4.1.3 Sensores

Foi utilizado neste sistema o sensor mostrado na figura 29, que detecta a passagem do *block* através de reflexão. Este sensor funciona através da utilização de um espelho de um lado da esteira e o sensor estando do outro lado apontando diretamente para o espelho. O sensor analisa a existência de reflexão ou não através do espelho. Quando um objeto passa entre o sensor e o espelho não existe a reflexão do espelho, e esta não reflexão ocasiona no acionamento do sensor que envia um sinal que para a placa de IO que está no computador. Tal propriedade acionada habilita a captura das imagens pelo sistema.

Este sensor foi escolhido para utilização no sistema proposto pelo fato de que o sistema atual já o utilizar para a mesma finalidade, diminuindo os custos para construção do ambiente proposto.

Além deste sensor, é utilizado um sensor magnético por efeito Hall na engrenagem como já mostrado na figura 21 o qual funciona para enviar um sinal ao CLP para que o mesmo possa ter uma aproximação do tamanho do *block* visando que o atuador acionado pelo mesmo possa ser acionado aproximadamente no meio da peça para a sua separação. Este sensor utilizado detecta ou não a presença de materiais metálicos na sua frente, enviando um sinal quando não existe metais passando pelo mesmo. A engrenagem foi feita de forma que possua de forma intercalada pedaços com metais e outros pedaços vazios, e desta maneira o CLP utilizado conta à quantidade de vezes que existe metais passando ou não pelo sensor. Com esta contagem é possível saber o tamanho aproximado do objeto que está sendo processado. Ocorre então que o CLP aciona o atuador para separar a peça através dos dados de tamanho dos *blocks*.

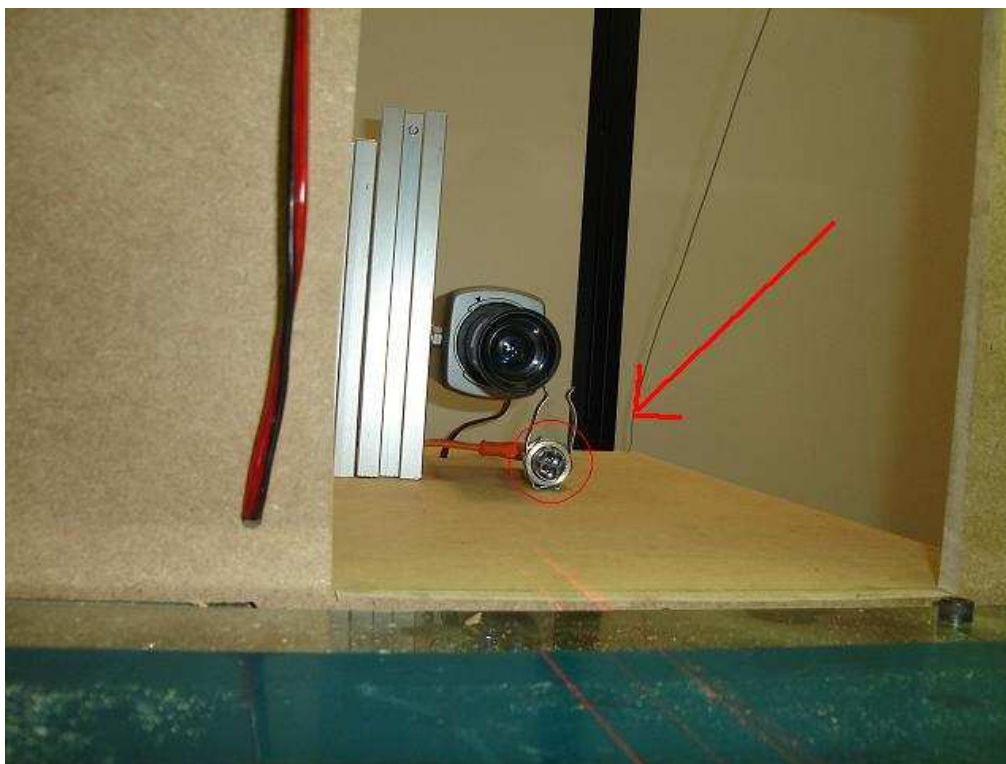


Figura 29: Destaque do sensor de reflexão utilizado

4.1.4 Lasers

Foi utilizado neste trabalho emissores de linhas lasers que trabalham em um ângulo de 45 graus pelo fato que a emissão com este ângulo é utilizada para que possamos detectar onde a altura do *block*. O modelo do emissor de laser utilizado é o LRM-03 L fabricado pela LaserLine, o qual a LaserLine(2008) declara que o comprimento de onda deste emissor é de 650nm e possui um angulo de abertura de 60°. A intensidade de iluminação média da linha projetada é alterada de acordo com a posição angular do laser projetado como mostrado na figura 30. A distância da projeção influencia na espessura da linha projetada verificado na figura 31 e também no comprimento da linha e diminuição da intensidade de acordo com o aumento da abertura como é mostrado na figura 32.

No primeiro teste de detecção dos lasers foi utilizado somente uma linha laser, e com este único laser foi possível verificar que é possível a utilização do mesmo. Neste mesmo teste foi possível verificar que era necessário a inclusão de mais lasers para o processo visto que com a utilização de somente um laser a velocidade do processo deve ser extremamente baixo. Deve-se analisar os lasers na maior quantidade de partes nos *blocks* para se ter uma maior confiabilidade do sistema.

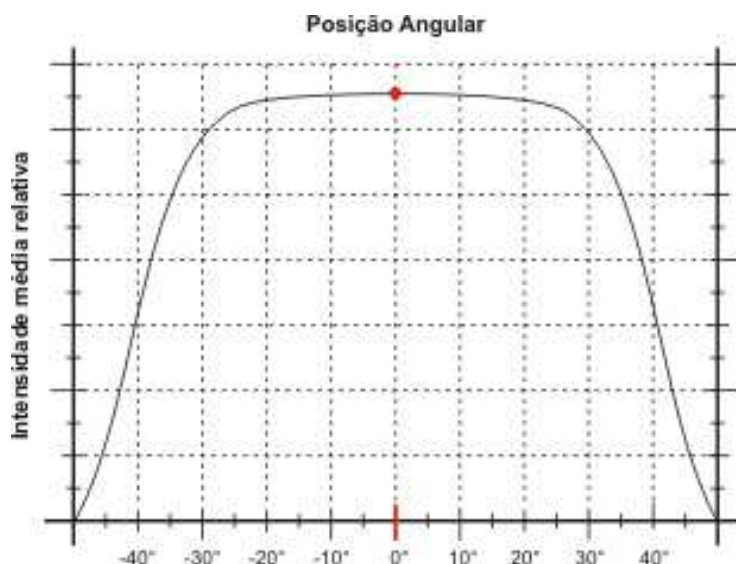


Figura 30: Intensidade do laser projetado de acordo com o respectivo ângulo

Fonte: LaserLine(2008)

Os próximos testes foram realizados através da utilização de três lasers, o qual mostrou que a esteira pode ser utilizada com uma velocidade maior, visto que triplicava a área de abrangência da análise dos lasers.



Figura 31: Espessura relativa da linha projetada de acordo com a distância.

Fonte: LaserLine(2008)

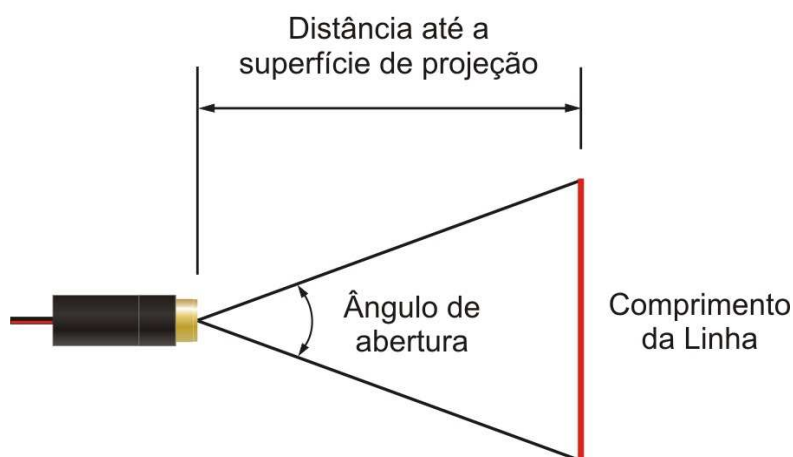


Figura 32: Comprimento da linha projetada de acordo com a distancia

Fonte: LaserLine(2008)

Mesmo com os três lasers notou-se nos testes seguintes que existia um problema para análise da parte inferior dos *blocks*, pois os lasers não passavam muito rente da parte superior. Com os três lasers se observou que existia um problema para análise da parte inferior dos *blocks*, pois os mesmos não passavam muito rente na parte superior da peça. Sendo assim, um quarto laser foi adicionado para auxiliar na detecção de esmoado perto da base.

Nota-se na figura 33 que os lasers mudam sua posição de acordo com a altura que o mesmo é projetado, ajudando muito a visualização de esmoados em todas as peças. Nas peças que possuem esmoados sem casca, a coloração do esmoado e da peça é a mesma, e esta técnica utilizada visa melhorar a detecção dos defeitos.

No sistema proposto foi utilizado a iluminação de quatro linhas lasers mostrado na figura 34 pelo fato da captura e processamento das imagens demorar em torno de 0,062 segundos em média, ou seja, em um segundo é capturado e processado aproximadamente 16 *frames* por segundo. Foi utilizado quatro lasers pelo fato da esteira se movimentar a 35 metros por minutos, ou seja, 58,33 centímetros por segundo. Calculando que cada laser fica em torno de um centímetro de distância uma da outra, com exceção do último laser que está a meio centímetro do anterior. Sabe-se também que os quatro lasers possuem uma espessura em torno de 0,3 centímetros, e que a

distância de verificação dos lasers é de 3,7 centímetros. Com estes dados é possível saber que a captura de imagens analisam-se todas as áreas de objetos que passem pela esteira, tendo uma pequena folga em caso de processamento alto. É possível varrer até 59,2 centímetros por segundo, conseguindo então captura e processamento de peças com mais *frames* do que os 16 frames por segundo do cálculo anterior. Este fato deve-se principalmente pelo fato do processamento se dar somente no momento em que o *block* estar passando pelo sensor, amenizando o processamento quando o mesmo não está sendo capturado e processado. Em testes realizados foi possível a captura e processamento de 18 a 25 *frames* por segundo quando os *blocks* que passam pela esteira possuem uma distância de 30 centímetros ou mais uma das outras.

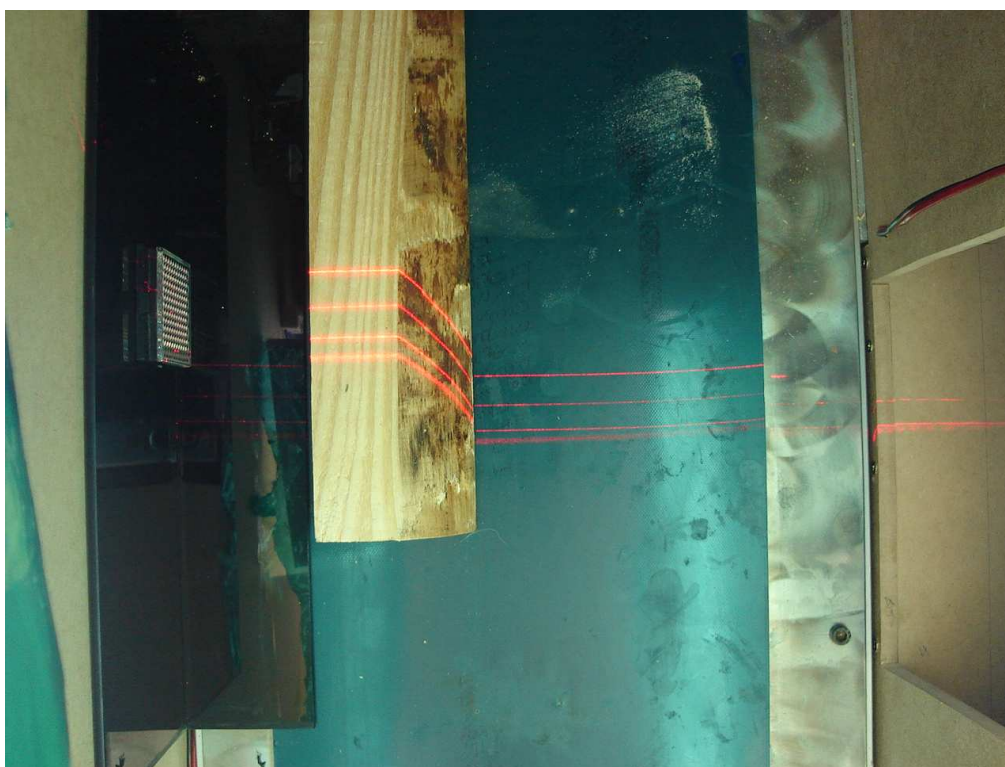


Figura 33: Iluminação de 4 linhas lasers em cima de *block* com esmoado

A análise dos lasers devem levar em conta que quando o laser muda de direção ou simplesmente não é visíveis na linha imaginária que o mesmo deveria estar, o esmoado começa, ou seja, o defeito inicia.



Figura 34: Quatro emissores de linhas lasers em um ângulo de 45°

A iluminação é um componente muito importante neste processo, visto que o mesmo pode fazer com que os lasers se destaquem ou diminuam das imagens capturadas, sendo que este tópico sobre iluminação é descrito em seguida.

4.1.5 Iluminação

O ambiente proposto, diferentemente do ambiente atual, necessita de uma iluminação controlada, visto que a detecção através de limiares é facilitada quando a iluminação não varia.

Nos primeiros testes foi utilizado quatro lâmpadas de 20 watts como já existia no processo utilizado atualmente nesta indústria, porém com esta quantidade de lâmpadas em um ambiente fechado para controle de iluminação proporcionou vários problemas de reflexos nas imagens capturadas. Para corrigir este problema foi removido duas lâmpadas deste ambiente, proporcionando uma diminuição quase que total das imagens, fazendo o processo proposto utilizar duas lâmpadas de 20 watts fluorescentes como mostrado na figura 35, uma de cada lado da esteira, a 40 centímetros de altura. As lâmpadas devem ficar em uma posição que não de reflexos nos *blocks*, pois no caso de reflexos neste, a detecção dos lasers fica comprometida. As lâmpadas foram colocadas a cinco centímetros abaixo da lente que captura as imagens, em uma distância de quinze centímetros da câmera, uma de cada lado, paralelamente dispostas com a esteira.



Figura 35: Lâmpadas e Filtros

Para termos um controle sobre a iluminação, foi construído um ambiente semi-fechado o qual deixa muita pouca iluminação externa ao processo entrar no mesmo. Um dos fatores importantes no controle de iluminação são os filtros de radiação que são descritos na seqüência.

4.1.6 Filtros de Radiação Eletromagnéticas

Os primeiros testes foram realizados sem filtros eletromagnéticos, e estes mostraram que em muitos casos existiam ruídos e reflexos nas imagens capturadas que dificultavam consideravelmente a detecção dos lasers e principalmente a detecção dos limites dos *blocks*.

Os próximos testes tiveram a inclusão de filtros de coloração vermelha, que neste caso filtram a radiação eletromagnética das ondas de baixa frequência. Estes realizados com estes filtros mostraram uma boa resposta na detecção dos lasers, porém ainda existia um grande número de *blocks* que eram detectados seus limites de forma errônea. Para amenizar este problema foi alterado o filtro da cor vermelha para um da cor amarela, o qual deve filtrar parte da iluminação nas ondas de baixa e média frequência. Com este filtro foi possível ter um acerto razoavelmente bom, porém ainda existia casos de erros de análise de limites de objetos de forma considerável.

O ultimo teste realizado foi adicionar mais um filtro de cor verde no processo, o qual fez diminuir mais a transmissão e reflexão de radiação de alta e média frequência, e desta vez sim o teste teve um ótimo desempenho, visto que os *blocks* possuem reflexão exatamente neste comprimento de ondas.

Os filtros utilizados na iluminação são mostrados na figura 35, os quais em quase a totalidade dos testes ajudam a detectar com uma grande facilidade os raios lasers projetados nos *blocks*.

Os seguintes filtros foram colocados no processo:

- Filtro Verde
 - Serve para diminuir a radiação eletromagnética nas ondas de média frequência transmitidas no ambiente.

- Filtro Amarelo
 - Utilizada para diminuir a radiação eletromagnética nas ondas de baixa e média frequência transmitidas no ambiente

Esta combinação de filtros foi utilizado para diminuir a radiação de baixa frequência que é representada pela projeção de iluminação da cor vermelha. Com a diminuição da reflexão em todo ambiente da iluminação vermelha, é possível detectar melhor os raios lasers, pois os mesmos não passam pelos filtros, salientando a coloração destas linhas.

Os filtros que diminuem a radiação das ondas de média frequência são utilizados para diminuir a reflexão desta cor, que é predominante no ambiente, visto que pode ser confundido o *block* com outros objetos da cena, principalmente com a esteira que possui coloração esverdeada.

4.1.7 CLP

Para que o sistema se comunique com os pistões de separação das peças e com os sensores foi utilizado um CLP que já existe no processo utilizado atualmente como já

mostrado na figura 22. Este CLP foi projetado para fazer a separação das peças em até oito categorias, porém o sistema utilizado atualmente nunca teve um bom índice de classificação dos *blocks* nem mesmo para duas categorias apenas.

O CLP utiliza 8 sinais de entrada distribuídos da seguinte forma:

- Sinal 1
 - Recebe um sinal através de um relé que está ligado diretamente na esteira. Este sinal refere-se a esteira ligada ou desligada.
- Sinal 2
 - O sinal recebido vem diretamente do sensor localizado no rolamento da esteira. Este sinal tem a finalidade de medir o tamanho médio do *block* que está passando pela esteira.
- Sinal 3
 - Este sinal provem do sensor de reflexão localizado na esteira. Este sinal avisa ao CLP que um *block* está ou não passando pela esteira. De posse deste sinal e do sinal 2 o CLP calcula uma medida aproximada do tamanho do *block*.
- Sinal 4, 5, 6 e 7
 - Recebe estes sinais providos do software desenvolvido com os dados referente a classificação da peça.
 - O CLP provido da classificação das peças conta a quantidade de sinais que estão passando pelo sensor colocado na engrenagem da esteira e então aciona os pistões corretos quando o *block* estiver passando pela saída onde o mesmo deve ser colocado.
 - Após ser colocado a peça na sua respectiva classificação, o CLP envia para a serra o lado correto que a serra deve cortar o *block*.
- Sinal 8

- Este sinal é enviado pelo sistema avisando o CLP que os dados do sinal 4, 5, 6 e 7 estão corretos e válidos. O CLP ignora estes sinais em quanto o sinal 8 não é enviado.

O CLP possui vinte e cinco sinais de saídas, os quais já são utilizados para acionar os pistões e serras que cortam as peças. Estes acionamentos já são utilizados atualmente, não necessitando nenhum ajuste.

4.1.8 Computador

Para suportar a aplicação desenvolvida foi utilizado um computador da marca DELL com um processador Pentium IV de 1.8 GHz e 1GB de memória RAM. Este computador deve possuir somente o sistema operacional e a aplicação desenvolvida. Não deve-se utilizar este computador para outra finalidade visto que o processamento realizado pela aplicação desenvolvida necessita um alto grau de utilização do processador, utilizando muito dos recursos do computador. Quanto maior a disponibilidade do computador, mais *frames* por segundos o sistema conseguirá capturar, não ultrapassando jamais de 60 *frames* por segundo, visto que este é o limite da placa de captura Pico Pro II que será descrito no capítulo a seguir.

O aplicativo desenvolvido deve estar sempre ativo e em funcionamento para todo o sistema proposto ser executado, visto que é ele o responsável pela análise das imagens. Este computador utiliza o sistema operacional Windows XP Professional, o qual é recomendado para este aplicativo, visto que todos os testes realizados foram feitos exatamente com este sistema operacional, além da linguagem de programação ser desenvolvida para o mesmo.

4.1.9 Frame Grabber

A placa *frame grabber* utilizada por este sistema é uma Pico Pro II mostrada na figura 36. Com esta placa foi possível a comunicação com todos os sensores e com o CLP, pois esta placa possui entrada para até 13 entradas e saídas.

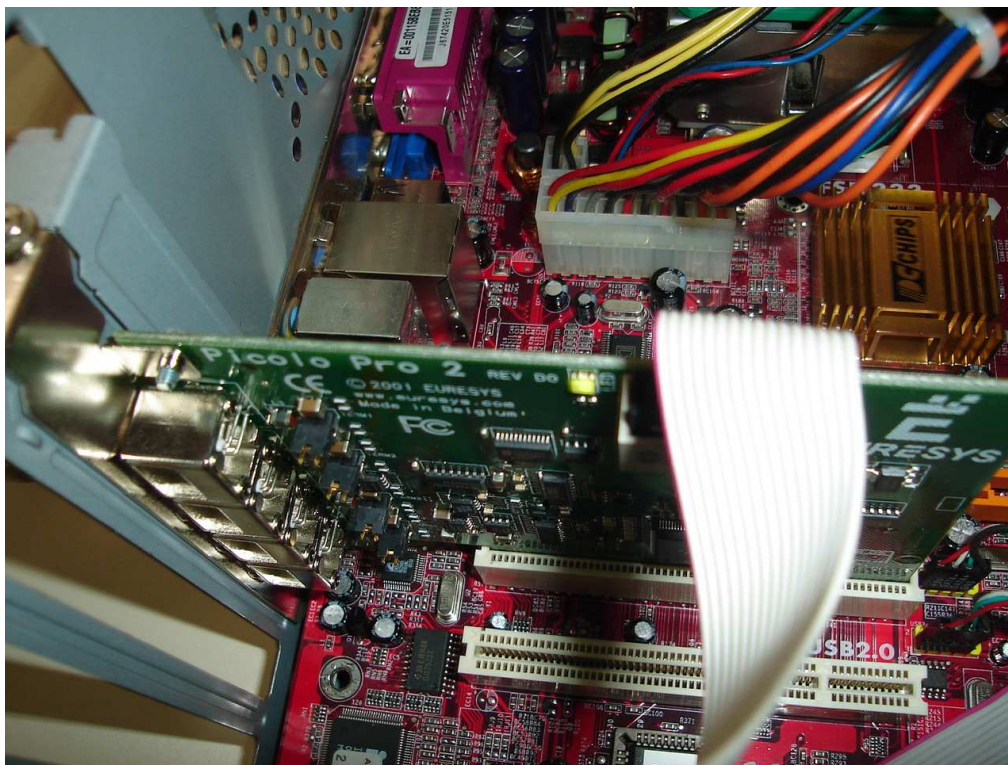


Figura 36: Placa Pico Pro II utilizada

Para utilizar estas entradas e saídas é necessário que a placa receba os sinais em 5 volts DC, porém estes providos do ambiente operacional são enviados em tensões de 12 volts, e o da esteira envia através da tensão 220 AC. Para resolver este problema, foi utilizado relé mostrado na figura 37 que recebem o sinal em 12 volts e as convertem para os 5 volts DC através de ligação direta com a placa utilizada. Este método de acionamento funcionava tanto para os sinais de entrada como com os sinais de saída, convertendo estes sinais para comunicação direta com o sistema.



Figura 37: Relé com entrada de em 12 volts

Provou-se que é possível a utilização deste método, porém com a inclusão de diversos relés o ambiente seria muito desorganizado. Para corrigir este problema foi incluída uma placa de IO, ou seja, uma placa de entradas e saídas, a qual foi diretamente ligada a placa *frame grabber* utilizada.

4.1.10 Placa de IO e Relés

Conforme já visto anteriormente foi utilizada uma placa de IO para comunicação entre a placa *frame grabber* e o ambiente externo. Esta placa é constituída por 13 relés ao qual foram organizadas de forma a se comunicar com a placa *frame grabber* utilizada.

Não foi encontrada no mercado nenhuma placa que pudesse ser utilizada, por esta razão foi encomendada a construção desta por uma empresa especializada neste tipo de produto. Em um dos casos foi necessário a utilização de um relé externo o qual

foi ligado diretamente na esteira. A esteira envia sinais através do inversor de frequência em 220 volts AC, e por esta razão não é possível a ligação direta com a placa de IO confeccionada.

4.2 Software

Foi desenvolvido um software para se comunicar com todos os sensores e atuadores do sistema proposto, software este que é o responsável por toda a inteligência do ambiente proposto.

Este software foi desenvolvido na linguagem C++ com o ambiente C++ Builder 5, e esta foi escolhida principalmente pela velocidade de processamento e facilidade de comunicação com todos os equipamentos utilizados, além de possuir uma IDE de fácil desenvolvimento. A velocidade de processamento tem um fator crucial neste projeto, visto que o mesmo deve ser implementado em tempo real, processando a maior quantidade de imagens possíveis no menor espaço de tempo.

O sistema desenvolvido fica aguardando o recebimento do sinal do sensor de reflexão, e quando recebe este sinal requer que a placa *frame grabber* capture uma imagem. De posse desta imagem o sistema mede o esmoado através da leitura dos lasers. Após medir o tamanho útil da peça, o sistema verifica se a peça ainda está passando pelo sensor, e caso positivo captura outra imagem e a classifica como anteriormente. Este processo de verificação do sensor, captura da imagem e análise da mesma fica em processo contínuo até que o sensor acione o sistema que a peça já não está mais passando pelo sensor. Quando isso ocorre, o sistema analisa todas as medidas feitas na peça anteriormente e classifica a peça como sendo de um determinado tamanho útil e então envia essa informação para as saídas da placa *frame grabber* que por sua vez envia esta mesma informação para a placa de IO responsável por se comunicar com o CLP.

Quando o CLP recebe a informação da peça salva esta e fica controlando a separação e corte desta mesma peça.

A seguir iremos mostrar como funciona a captura das imagens, comunicação com o CLP e a classificação das peças.

4.2.1 Captura das Imagens e Comunicação com IO

Para comunicação com a placa *frame grabber* Pícolo Pro II produzida pela Euresis é utilizada a DLL que vem com a mesma. Esta DLL possui várias funções necessárias para a captura da imagem, iniciando por chamadas de configuração da captura, para que possamos definir certos objetivos de captura. Dentre as principais configurações de captura devemos levar com conta a resolução que queremos capturar. A câmara captura por padrão em na resolução de 640X480 *pixels*, a qual foi utilizada nos primeiros testes. Estes mostraram que nesta resolução o tempo de processamento estava elevado, porém sabe-se que as câmeras capturam as imagens em dois momentos, sendo um deles com linhas pares e outras ímpares. Por este motivo foi configurado para que a placa capturasse somente as linhas ímpares, fazendo com que seja capturada imagens na resolução de 640X240 *pixels*. Nesta resolução, não existe perda significativa de informação, visto que as imagens geradas praticamente iguais, só mudando o momento da captura. A captura com a resolução de 640X480 *pixels* gera problemas em imagens em movimento, já que cria fantasmas nas imagens. A captura se dá em dois momentos, e estes são resolvidos com a utilização dos *frames* ímpares ou pares separadamente.

4.2.2 Detecção de Limites do *Block*

O primeiro passo do processamento das imagens adquiridas é a detecção dos cantos, topo e base do objeto para que se possa através destes analisar a peça. Analisando o formato destes é possível verificar que se deve utilizar um algoritmo capaz de detectar os limites do *block*, o qual neste caso são as bordas do objeto. Para detectar bordas é necessário um algoritmo capaz de gerar com precisão estes, pois essa análise é crucial para um bom índice de acerto de cálculo de tamanho útil da madeira.

O algoritmo gradiente sobel foi utilizado para a detecção das bordas das peças. Este que é muito utilizado para esta finalidade, principalmente pelo fato do mesmo usar a noção da primeira derivada, o que resulta bordas mais precisas do que algoritmos de segunda derivada.

Nas imagens 38(a) e 39(a) são mostradas as imagens originais seguida das mesmas processadas pelo algoritmo gradiente Sobel nas imagens 38(b) e 39(b).

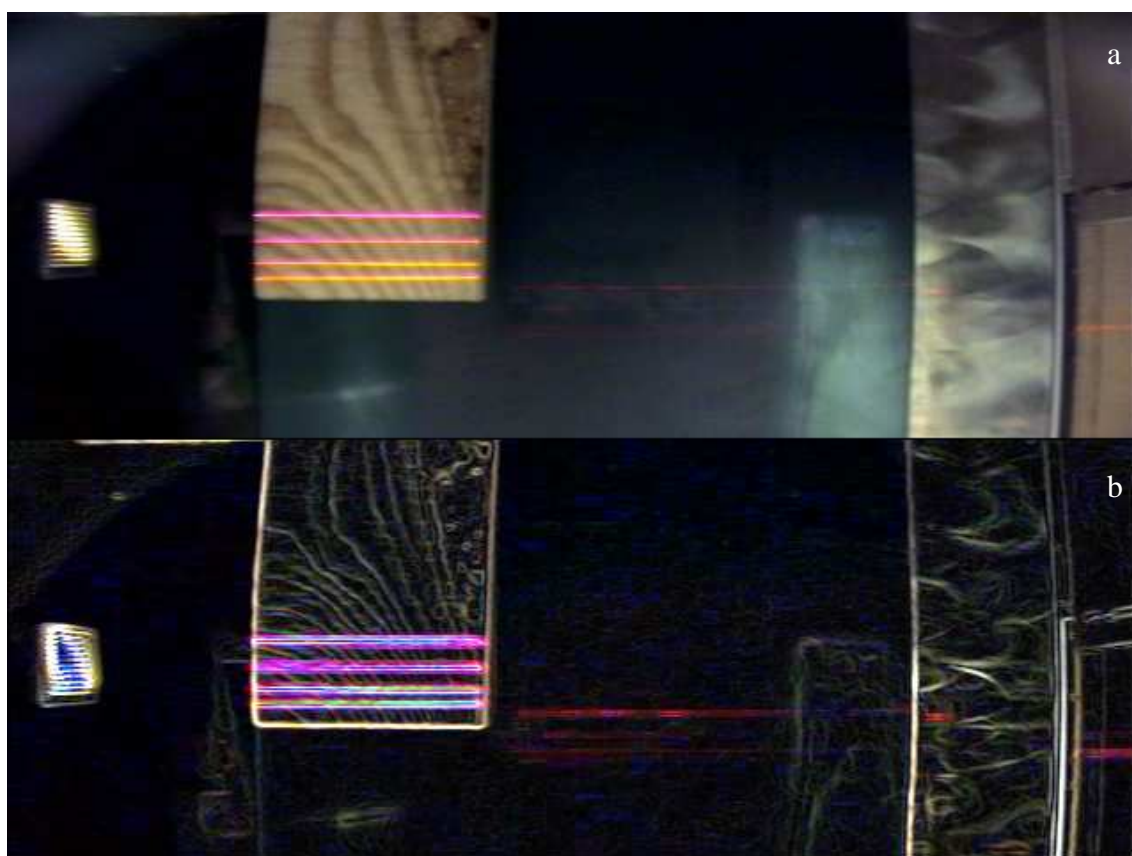


Figura 38: Imagem Original e com operador gradiente sobel

Através da análise do gradiente sobel pode-se gerar os limites dos *blocks*, com a busca pelas áreas que nestas imagens possuem uma maior aderência a altas frequências demonstradas na imagem resultante pela cor branca ou cores de um comprimento de onda apenas. Como foi colocado filtros de radiação de média frequência, este componente é o principal para a análise das bordas, visto que o mesmo deve se destacar em detrimento dos outros comprimentos de onda. Através do gradiente gerado é

possível verificarmos que os raios lasers emitidos sobre as peças também geram bordas, porém basicamente só nestas ondas representadas pelas cores próximas de vermelho, as quais se descartam no restante das imagens processadas.

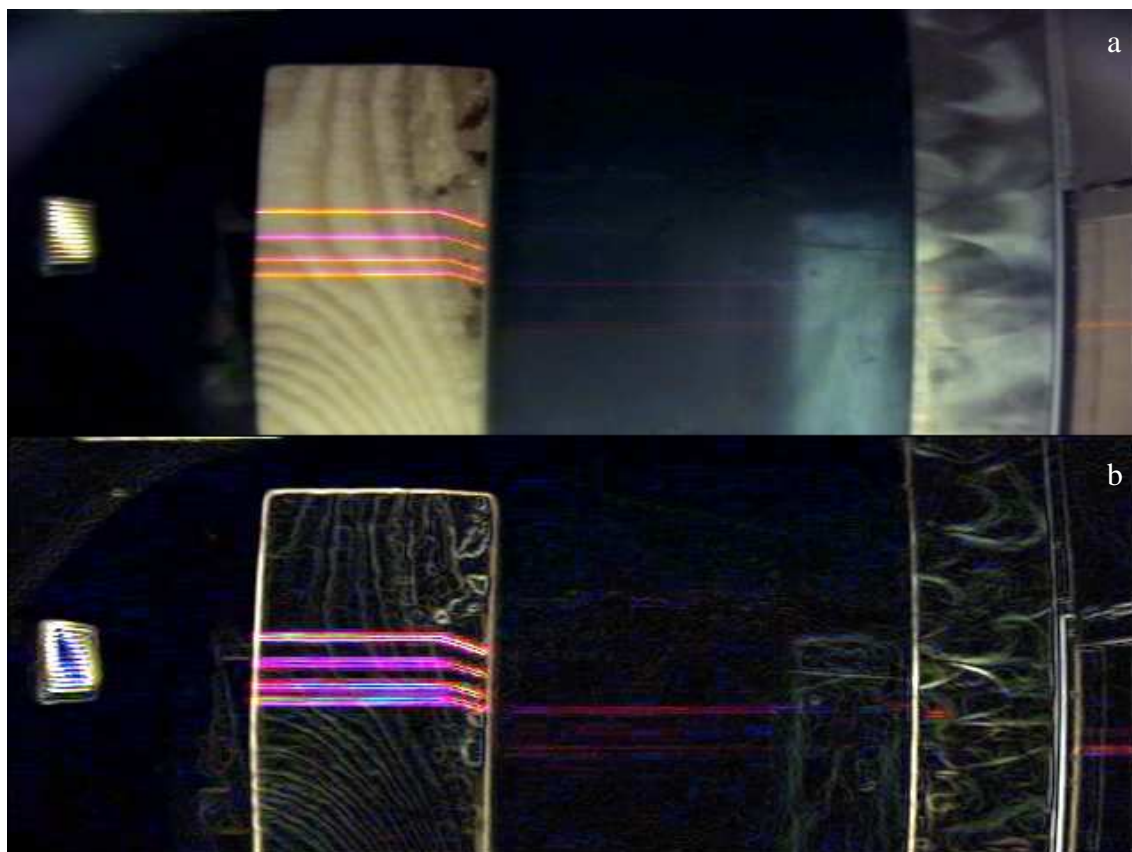


Figura 39: Imagem Original e com operador gradiente sobel

Através de limiarização simples é possível buscar os limites dos *blocks*, porém pode se utilizar também à análise do histograma da imagem gerada. Através desta análise é possível constatar onde o corte de *threshold* é necessário para uma melhor detecção. Com a análise destas imagens mostradas nas imagens 40 e 41 é possível analisar o valor ideal para a limiarização, exatamente no local onde o valor dos pixels possuem um aumento das altas frequências.

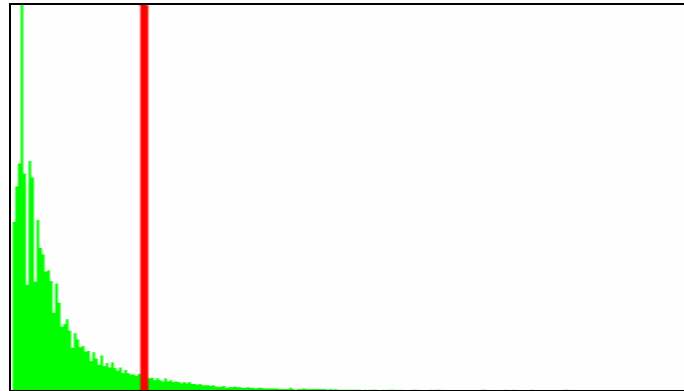


Figura 40: Histograma do gradiente sobel da figura 38

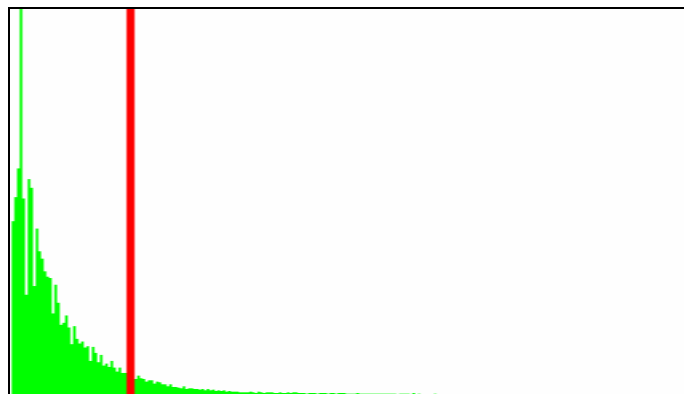


Figura 41: Histograma do gradiente sobel da figura 39

Para a limiarização mostrada nas figuras 42 e 43 da imagem, deve ser levado em consideração o valor encontrado anteriormente no histograma das ondas de média frequência, pois foi nesta faixa do espectro que se colocou os filtros de radiação.



Figura 42: Limiarização da figura 38



Figura 43: Limiarização da figura 39

Para ajudar na velocidade de processamento, o sistema proposto possui uma configuração para definir a área de interesse na imagem, visto que só uma área da imagem realmente passa os *blocks*. Na figura 44 e 45 é mostrada a área de interesse configurada, onde pode se notar as linhas verticais vermelha e verde, as quais representam que a área de processamento é feita entre as duas linhas.



Figura 44: Área de interesse para processamento da figura 38

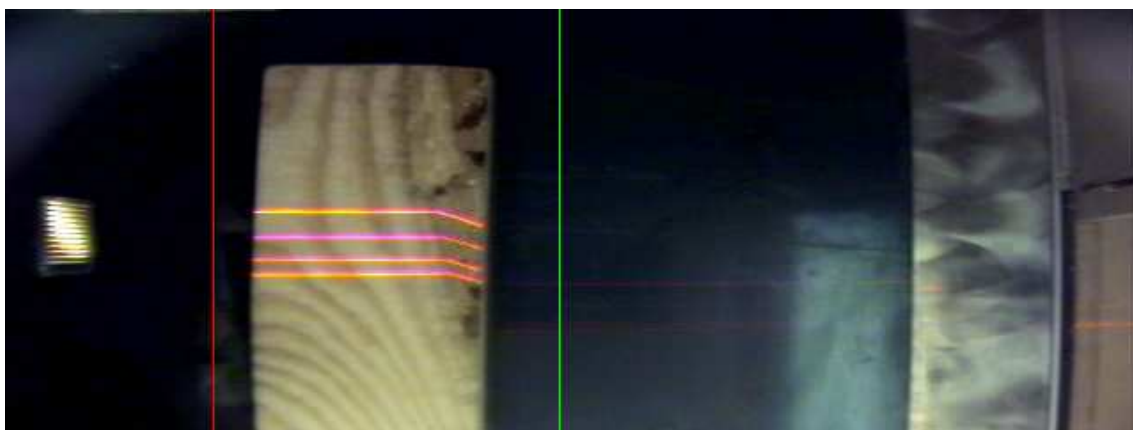


Figura 45: Área de interesse para processamento da figura 39

Para detectar os limites é utilizado um algoritmo simples, o qual se busca na área de interesse a localização dos cantos, buscando um por um os cantos, sendo que estes são: limite esquerdo, direito, topo e base.

Para detectar o limite esquerdo varre-se a área de interesse do lado esquerdo em direção ao lado direito em cada linha da imagem. Em cada uma destas, onde é encontrado um *pixel* branco como é mostrado na figura 46, é gravado em um vetor mostrado na figura 47, para que posteriormente o sistema possa analisar estes dados e verificar qual a coluna existe a maior quantidade de *pixels* de borda. Cada vez que é

gravado este dado passa-se para a próxima linha, visto que já se achou o limite esquerdo daquela linha e não necessita mais esta busca pela linha atual.

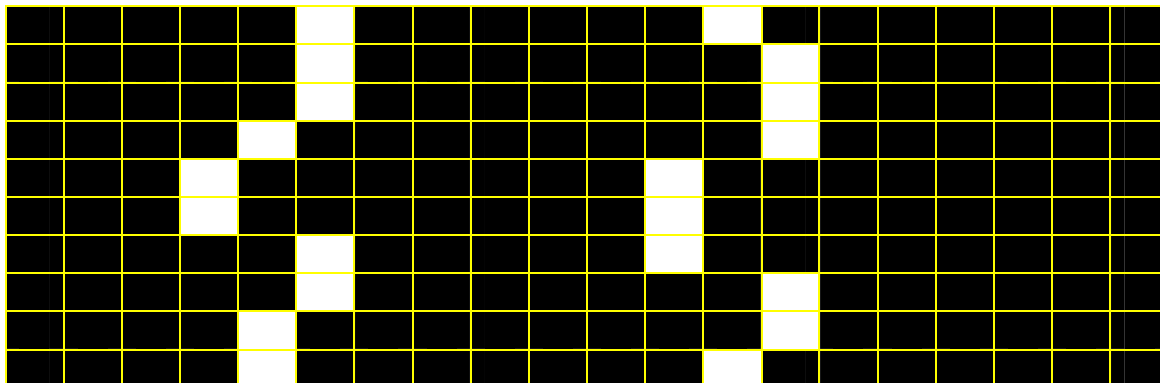


Figura 46: Matriz de *pixels* de uma imagem limiarizada

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	0	2	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 47: Vetor para cálculo de quantidade *pixels* do lado esquerdo

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	5	0	0	0	0	0	0

Figura 48: Vetor para cálculo de quantidade *pixels* do lado direito

A análise deste vetor é feita através da quantidade de *pixels* marcados em cada coluna, porém no cálculo da ganhadora leva-se em consideração também a anterior e posterior. A coluna que possuir o maior valor deste cálculo é o ganhador e o sistema considera esta coluna como sendo o limite esquerdo. No exemplo mostrado na figura 47, o limite esquerdo ganhador é a coluna 5, visto que valor gerado pela soma da coluna anterior e posterior da mesma é maior que qualquer outra posição do vetor com este mesmo cálculo. Nota-se que esta coluna vencedora é a 5, porém está possui menos marcações de branco do que a 6. Como a mesma possui um valor maior na soma das vizinhas, está coluna ganha o cálculo.

Para o cálculo do limite direito utiliza-se o mesmo método do limite esquerdo, porém se varrendo a imagem da direita para a esquerda. A mesma situação do cálculo do vetor é mostrado na figura 48, onde a coluna vencedora é a 13, mesmo sendo esta a que possui menos quantidade de *pixels* brancos nesta, porém com um valor maior no cálculo dos seus vizinhos.

A análise do limite superior e inferior dos *blocks* é mais complexo do que o utilizado para detecção dos limites esquerdo e direito, principalmente pelo fato do limite superior em muitos casos ser encostado no topo da imagem como é visto na figura 45 e também quando o limite inferior estar na base da imagem como mostrado na figura 46.

A análise do topo e base é feita através da verificação dos limites esquerdo ou direitos gerados no processo anterior. Através destes dados analisa-se as informações do início e fim de cada linha, e através da análise destes é possível o sistema detectar o topo e a base. Porém muitas vezes existe falhas na detecção dos limites esquerdo e direito, ocasionando no problema de descontinuidade da linha de *pixels* geradas. Os *pixels* que são considerados relevantes para esta detecção são os que estão em até 5 colunas afastadas de cada linha, onde é analisado também a descontinuidade do mesmo, sendo desconsiderado regiões onde existirem poucos *pixels*. Para não existir problemas com a descontinuidade utilizou-se em cima da imagem limiarizada um algoritmo de fechamento binários com o elemento estruturante B mostrado na função 35.

$$B = \begin{bmatrix} i & i & x & i & i \\ i & i & x & i & i \\ i & i & x & i & i \\ i & i & x & i & i \\ i & i & x & i & i \end{bmatrix} \quad (35)$$

As detecções dos limites são mostrados nas figuras 49 e 50, as quais foram marcadas com linhas azuis.

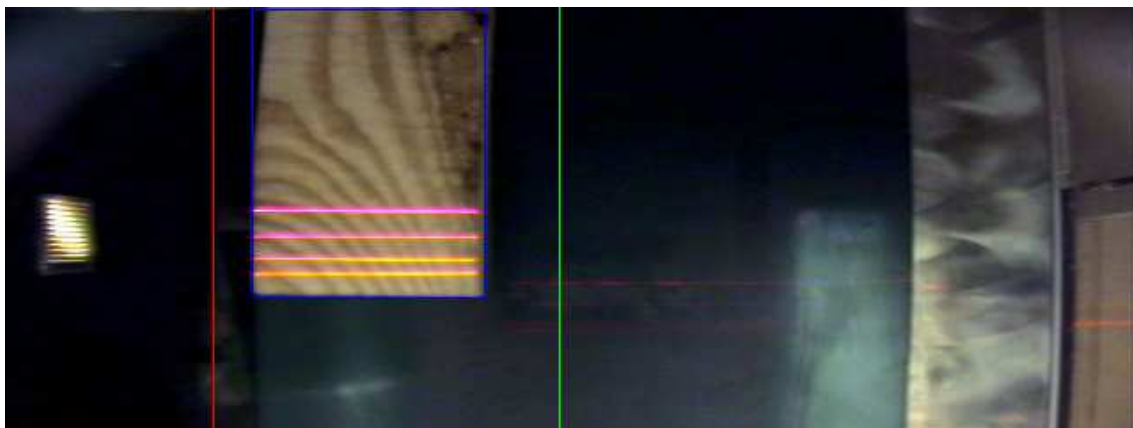


Figura 49: Detecção dos limites do *block* da figura 38

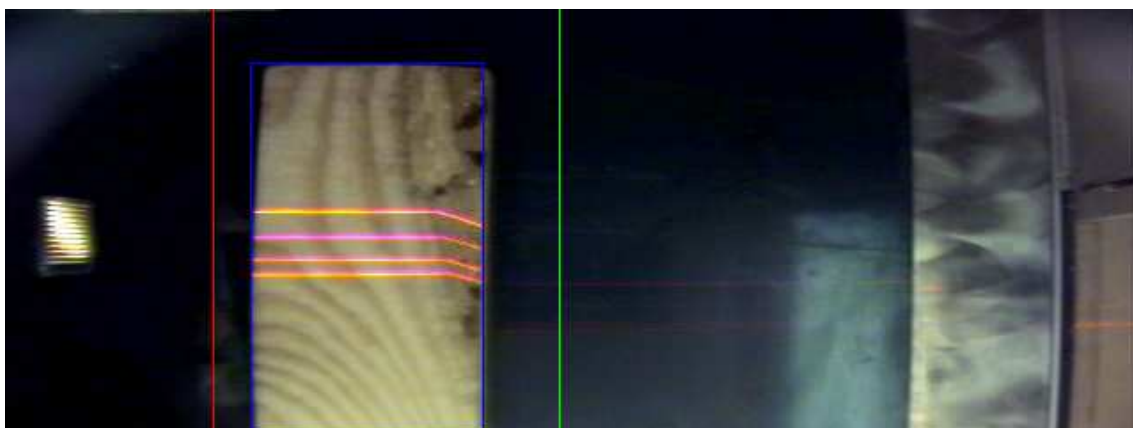


Figura 50: Detecção dos limites do *block* da figura 39

Após a detecção dos limites dos *blocks* é necessário detectar os lasers, os quais servem para analisar o esmoado propriamente dito como é descrito no próximo passo.

4.2.3 Detecção dos Lasers

Os lasers utilizados neste processo emitem radiação eletromagnética em um comprimento de onda de baixa frequência. Para análise destes lasers, como os mesmos são vermelhos, podemos utilizar o padrão HSI, através dos componentes Matiz e Saturação. Como a frequência baixa é a predominante nos lasers, podemos verificar que

os *pixels* que possuírem valores no componente *Red* altos e ao mesmo tempo valores baixos para os componentes *Green* e *Blue* são exatamente os lasers procurados. Com esta informação, esta conversão básica para o valor da matiz e da saturação é feito de forma facilitada, sem a necessidade de gerarmos a conversão total para este padrão de cores. Através desta lógica desenvolvida, o sistema busca *pixels* que possuem o componente *Red* com valor acima de 200 ao mesmo tempo que estes possuírem valores para *Green* e *Blue* abaixo de 120.

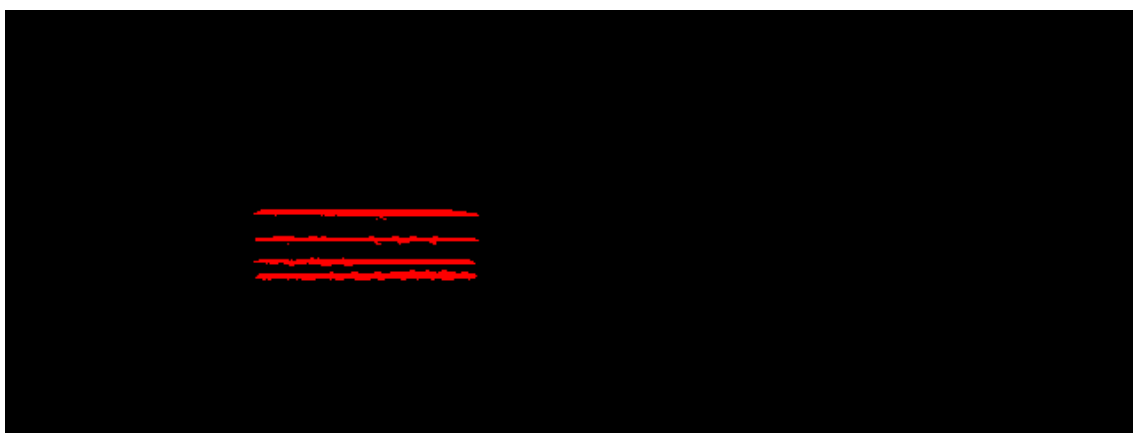


Figura 51: Detecção do laser na figura 38 através de limiarização em cima do padrão de cores HSI adaptado

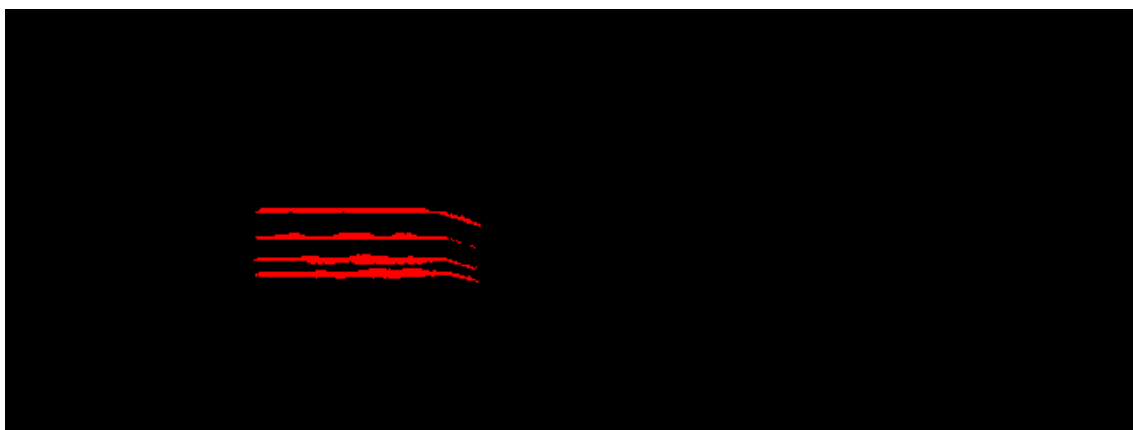


Figura 52: Detecção do laser na figura 39 através de limiarização em cima do padrão de cores HSI adaptado

Está análise dos valores de matiz e saturação sem a necessidade de conversão, e busca por *pixels* nos intervalos propostos criam imagens que são mostradas nas figuras 51 e 52 as quais foram processadas em cima das figuras 38 e 39 respectivamente.

Pode-se notar que com este algoritmo o lasers gerado é muito grosso e de difícil mensuração. Os testes realizados após a detecção utilizavam afinamentos através de morfologia matemática, mas estes algoritmos demonstraram grandes problemas principalmente uma grande perda de informação, gerando buracos em cada laser, ocasionando em análises falsas sobre os *lasers*.

É necessário o afinamento de cada laser, por esta razão foi utilizado uma técnica adaptada de erosão, o qual sabendo os limites superiores e inferiores onde cada laser pode cortar, pode-se varrer cada laser e descobrir qual a linha possui o maior valor para o componente *Red*, e desta maneira gera-se um afinamento consistente. Para demonstrar está técnica será afinada os dados do componente *Red* da figura 53 com o resultado na figura 54. Note que busca-se o *pixel* em cada coluna com o maior valor marcando o mesmo como o centro do laser, ou seja, a região que será utilizada para futura análise do mesmo.

5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	50	5	50	50	50	5	5	5	5	5	50	50	50	5	50	5	50	50	5
50	60	5	60	60	60	50	50	50	5	50	60	60	60	50	60	50	60	60	50
60	70	50	70	70	70	60	60	60	50	60	70	70	70	60	70	60	70	70	60
70	60	60	60	60	60	70	70	70	60	70	60	60	60	70	60	70	60	60	70
60	50	70	50	50	50	60	60	60	70	60	50	50	50	60	50	60	50	50	60
50	5	60	5	5	5	50	50	50	60	50	5	5	5	50	5	50	5	5	50
5	5	50	5	5	5	5	5	5	50	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Figura 53: Matriz com pixels do componente Red de uma imagem com detalhe para pixels com maior valor em cada coluna.

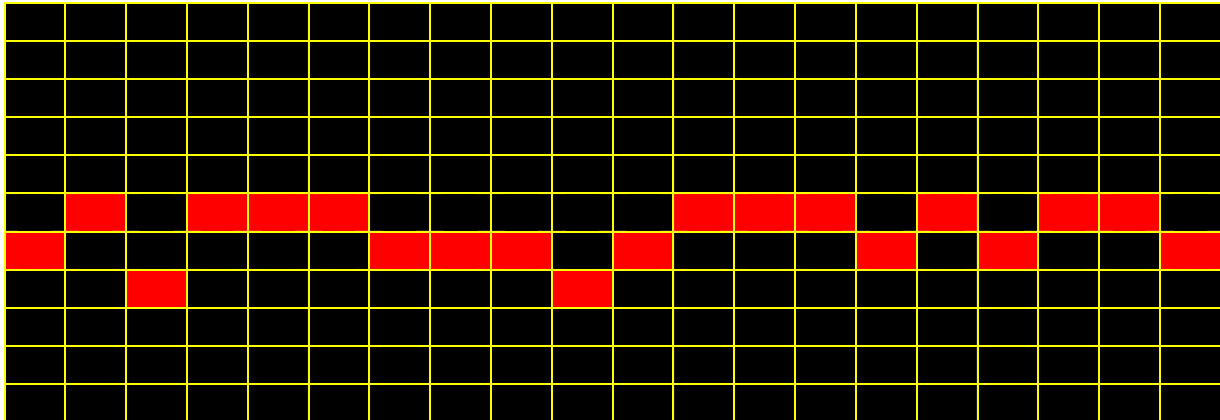


Figura 54: *Zoom* do Laser da figura 53 Afinado

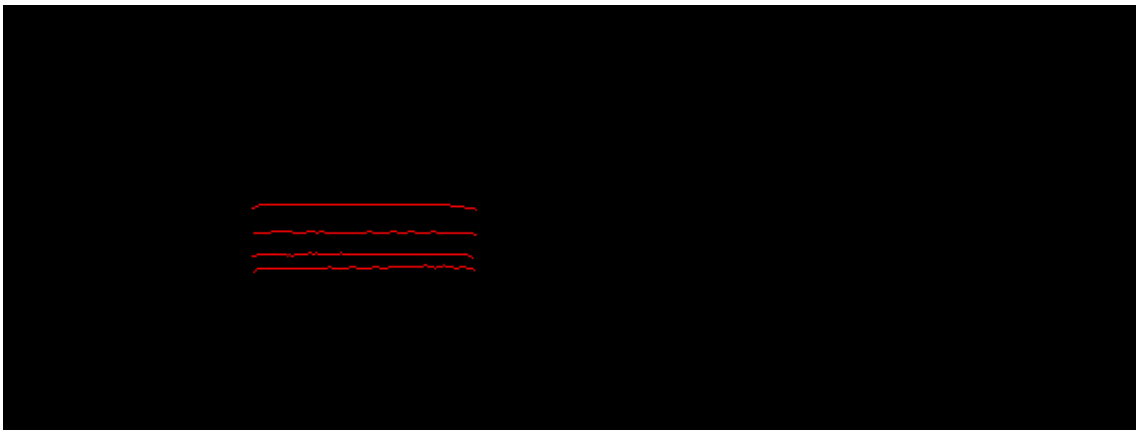


Figura 55: Afinamento do laser da figura 38

A técnica utilizada para afinamento do laser gerou resultados muito bons onde cada linha projetada em cima do *block* possui apenas um *pixel* de largura para cada *laser*, facilitando assim a futura análise dos mesmos. Nota-se na figura 55 e 56 que existe uma pequena variação para cima ou para baixo nos *lasers* gerados a partir do afinamento, porém esta não compromete o processamento gerado para classificação do tamanho útil do *block*. A análise do *laser* tem um fator determinante no sistema, e é descrito a seguir.

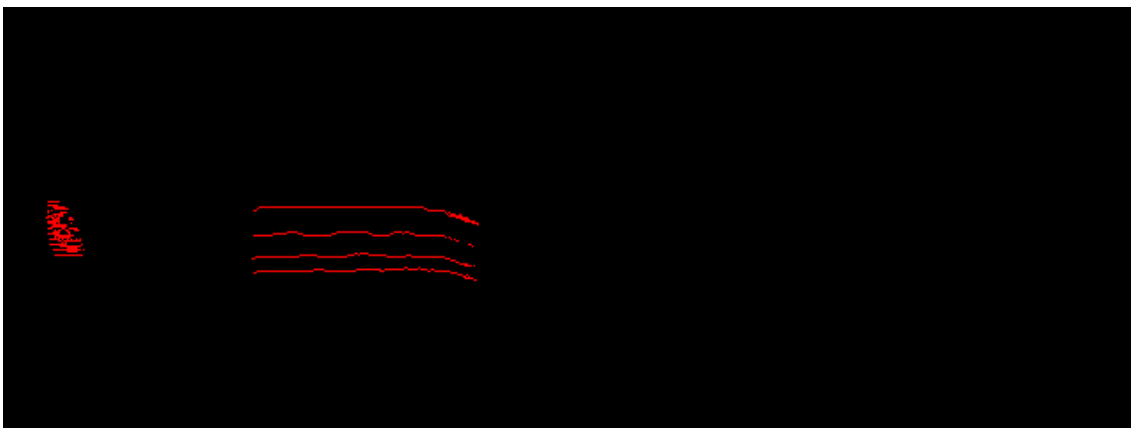


Figura 56: Afinamento do laser da figura 39

4.2.4 Análise dos Lasers

Uma análise dos *lasers* bem feitas garante um controle sobre o processo muito vantajoso para a linha de produção, e tem um fator determinante sobre a qualidade dos produtos fabricados.

Para analisar os *lasers* é necessário que o sistema saiba exatamente onde cada laser se encontra, e por esta razão é configurado estas posições no sistema proposto. Não é configurada a linha onde o laser deve se encontrar, mas sim um limite inferior e superior do mesmo como é mostrado nas figuras 57 e 58. Nestas figuras pode-se notar que cada *laser* possui uma linha abaixo e outra acima, delimitando estes limites. Provido destes pode-se varrer cada *laser* em busca de falhas nos mesmos, descidas bruscas ou até mesmo descidas leves, porém que quebram a barreira do limite inferior da leitura do *laser* como é mostrado na figura 59. Em qualquer uma destas situações sobre a análise do laser o sistema proposto deve detectar que existe uma falha nestes locais, considerando estes como esmoado.

Para análise dos *lasers* o sistema varre a imagem da esquerda para a direita, entre os limites estabelecidos para cada *laser*, e onde ele encontra o primeiro pixel ele considera como sendo o início do *block*. Após isso o sistema percorre o *laser* detectado até que o laser acabe ou até que o mesmo esteja em cima do limite inferior. O sistema

então classifica como o início do *block* o local onde iniciou a varredura da linha laser, e o final como sendo o local onde o mesmo desapareceu ou sobrepôs o limite inferior.

Provido dos dados de início e final do laser detectado, o sistema inicia a varredura a partir do próximo *pixel* em busca da linha laser novamente. Caso encontre mais um início de laser ele procede com o mesmo da mesma maneira e repete o processo até não encontrar mais lasers. A partir dos comprimentos de todas as linhas detectadas, o sistema analisa qual destas possui o maior tamanho e considera este como sendo o laser da área útil.

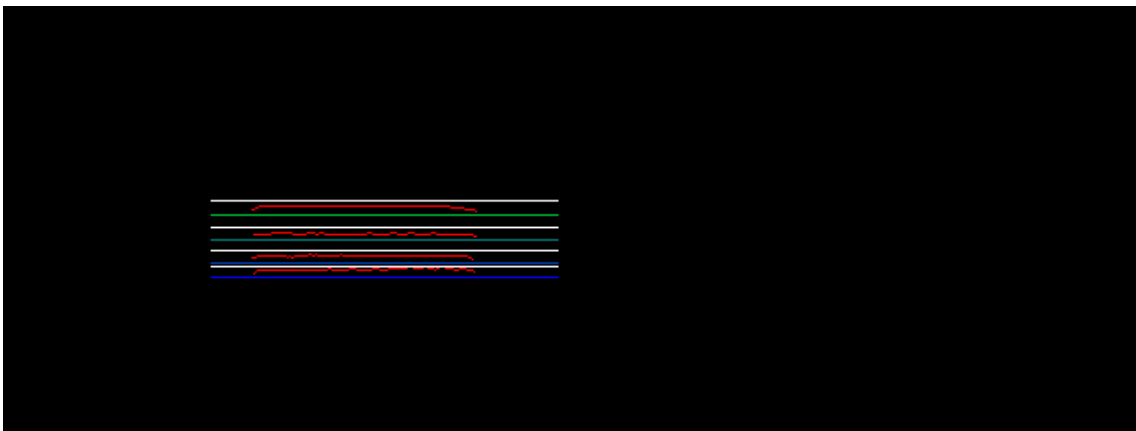


Figura 57: Limites dos *Lasers* da figura 38

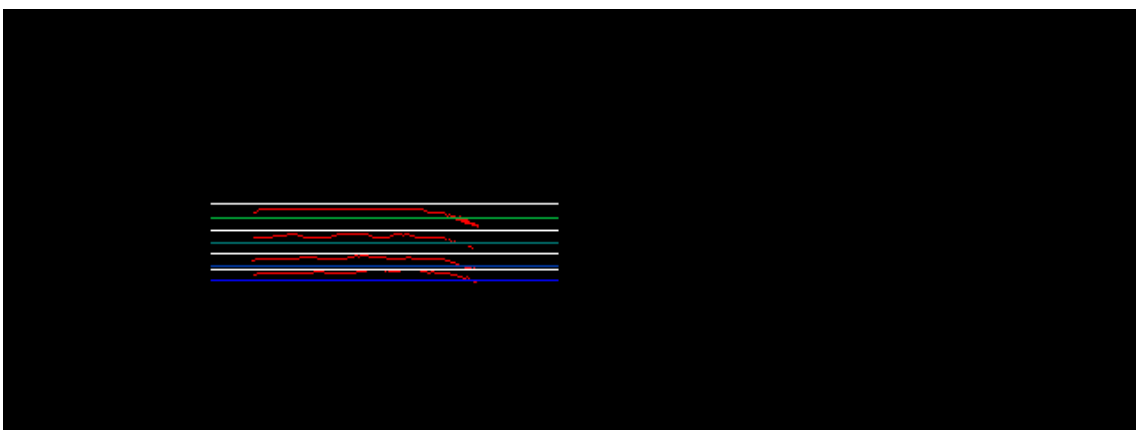


Figura 58: Limites dos *Lasers* da figura 39

Após detectado a linha considerada como sendo a área útil, o sistema varre o início e o final de cada *laser*, analisando então onde o mesmo iniciou a descida no caso do limite direito, ou onde finalizou a subida no lado esquerdo.

No exemplo da figura 59 o sistema inicia a varredura do *laser* a partir da coluna 1 a qual sobe até a 2. Neste caso o sistema considerará o início da área útil como sendo o *pixel* 2. Após este procedimento, o sistema analisa o limite direito que está posicionado no *pixel* 19 e segue a linha no sentido direita para esquerda, parando o processamento no *pixel* da coluna 11 pois o mesmo desceu. Então se considera como sendo no *pixel* da coluna 14 o limite direito visto que este foi o último a ter uma subida considerada. Para efeito de finalização de processamento, sempre se busca até cinco colunas após a última subida encontrada, pois variações existem no decorrer da linha projetada. É analisa estas 5 colunas pelo fato de após uma análise nas imagens contatar-se que não existia nenhuma detecção de esmoado através desta técnica que tivesse mais que 5 *pixels* de distância da quebra dos limites.

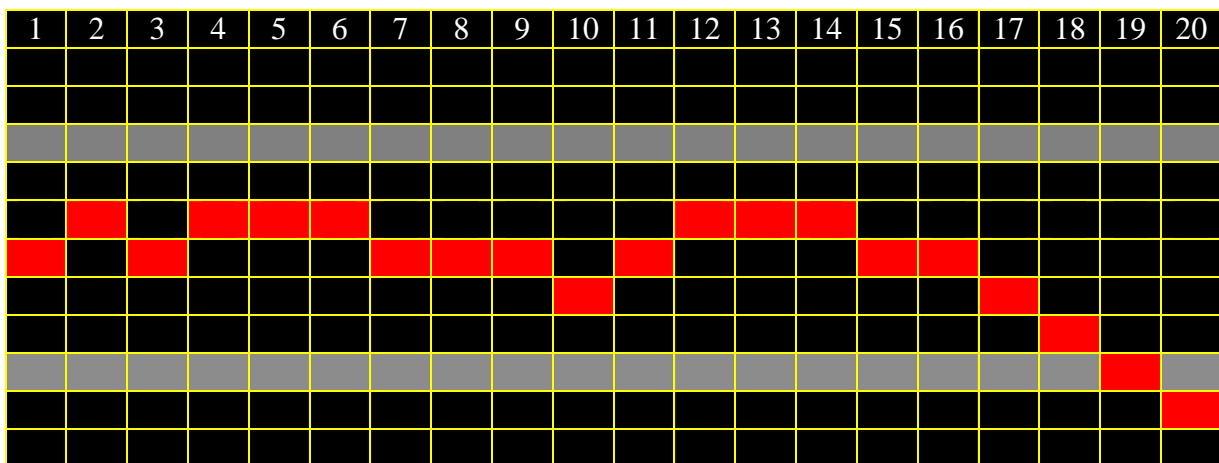


Figura 59: Exemplo de laser ultrapassando o limite inferior

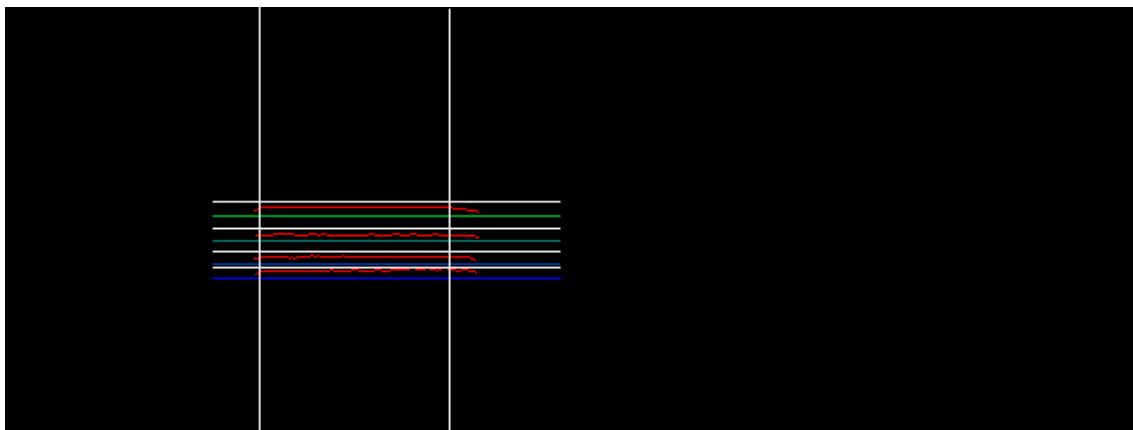


Figura 60: Área útil encontrada no processamento da figura 38

Processando as imagens capturadas mostradas nas figuras 38 e 39 chega-se a detecção da área útil dos *lasers* com uma grande precisão como visto nas figuras 60 e 61, as quais possuem linhas brancas verticais delimitando a área útil encontrada no processo.

Deve-se tomar cuidado quando os limites inferiores e superiores ultrapassarem algum laser, retirando o mesmo da cena. Quando este fator ocorre, deve-se eliminar do processamento estas imagens, visto que em muitos testes realizados foi constatado que mesmo eliminando os *lasers* fora dos limites ocorre falhas na detecção dos *lasers*, ocasionando falha na classificação dos *blocks*.

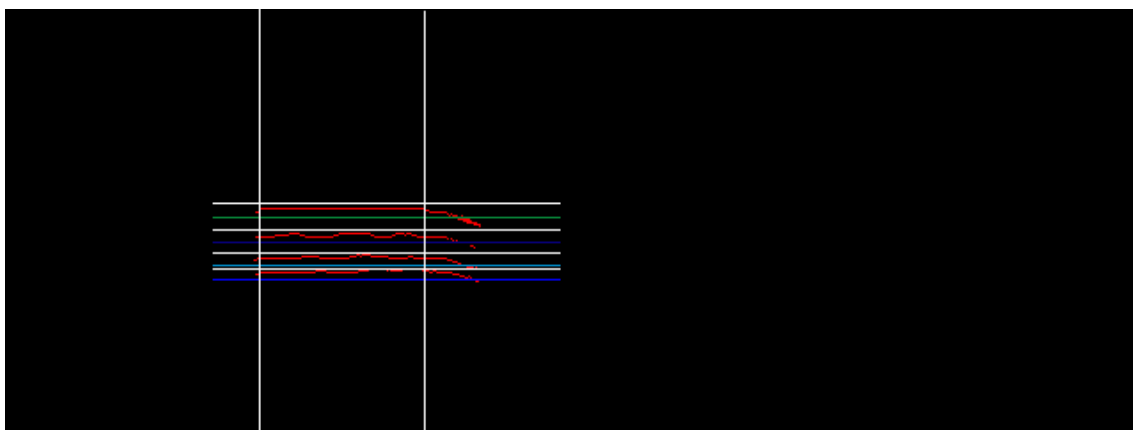


Figura 61: Área útil encontrada no processamento da figura 39

4.3 Testes no Ambiente Proposto

Os testes realizados no ambiente proposto tiveram um bom desempenho, conseguindo na grande maioria dos casos a leitura quase que exata do tamanho útil do *block*.

Pode-se notar na seqüência de processamento das figuras 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71 e 72 que a classificação de um *block* obtém uma boa aproximação da realidade, garantindo que o processo proposto possa ser utilizado para o fim proposto.

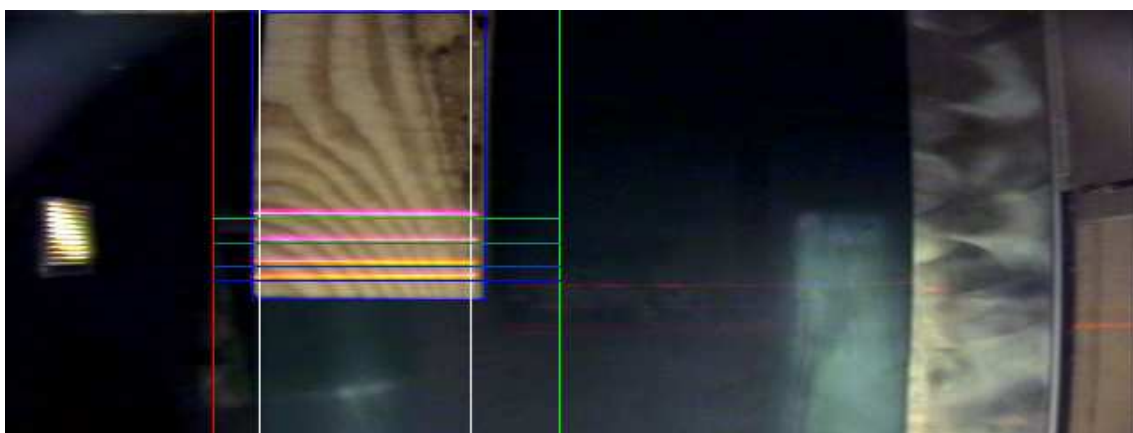


Figura 62: Primeiro frame processado do *block* de exemplo

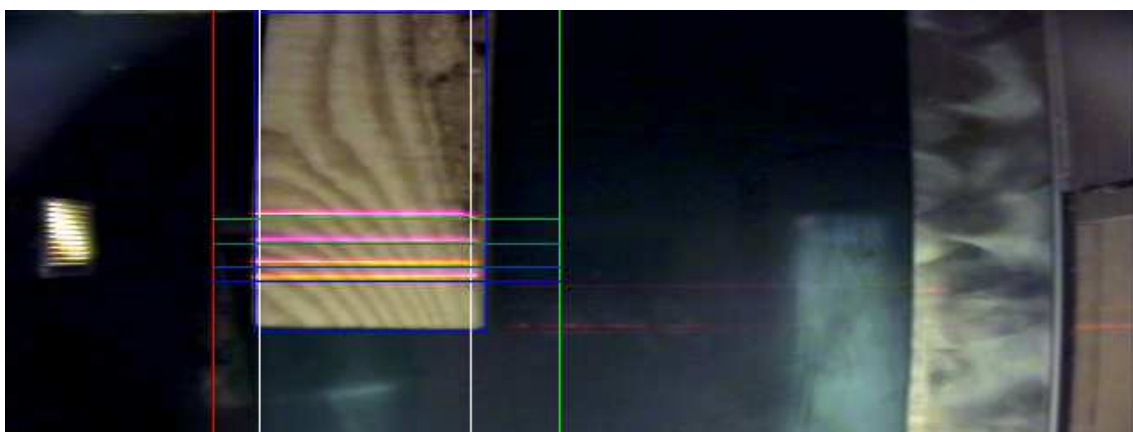


Figura 63: Segundo frame processado do *block* exemplo

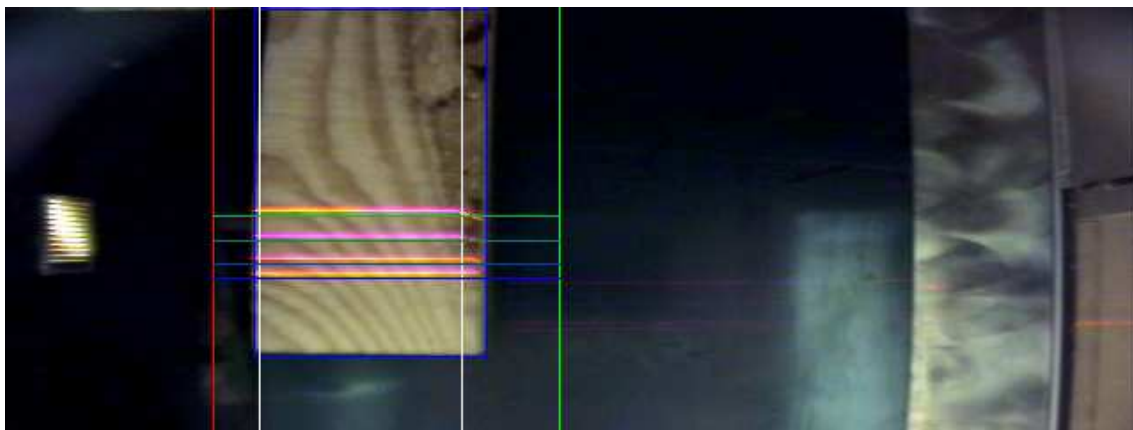


Figura 64: Terceiro frame processado do *block* exemplo



Figura 65: Quarto frame processado do *block* exemplo



Figura 66: Quinto frame processado do *block* exemplo

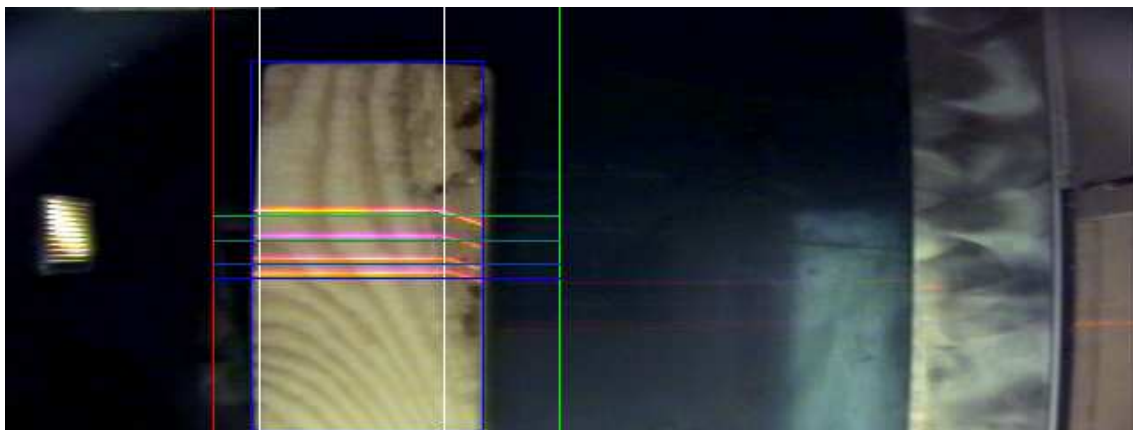


Figura 67: Sexto frame processado do *block* exemplo

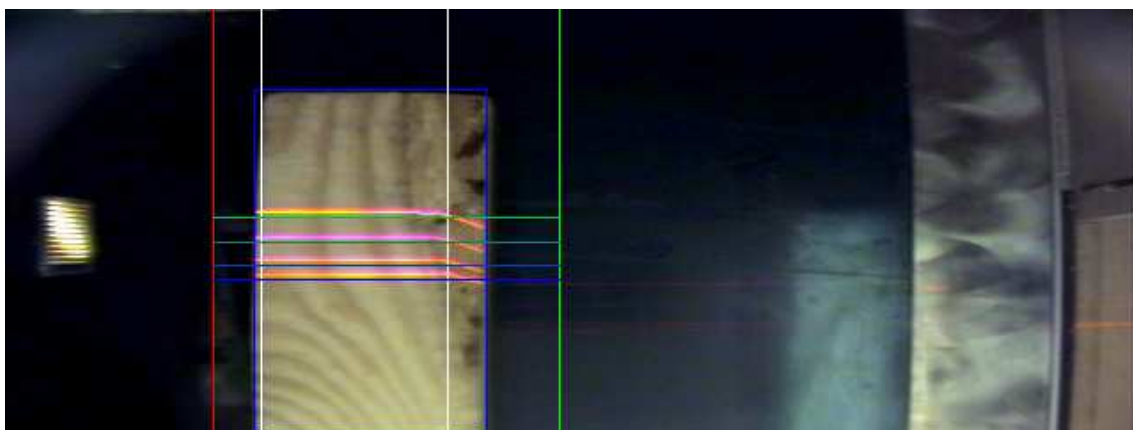


Figura 68: Sétimo frame processado do *block* exemplo

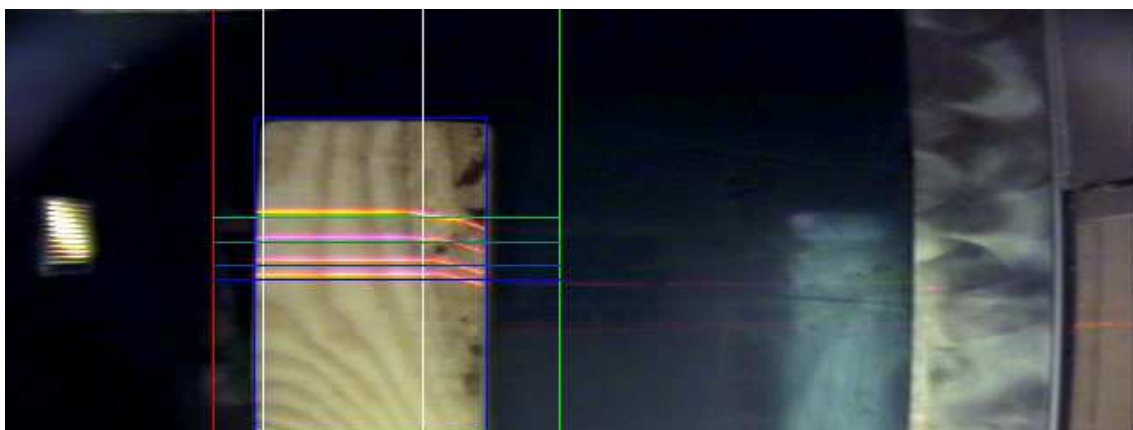


Figura 69: Oitavo frame processado do *block* exemplo

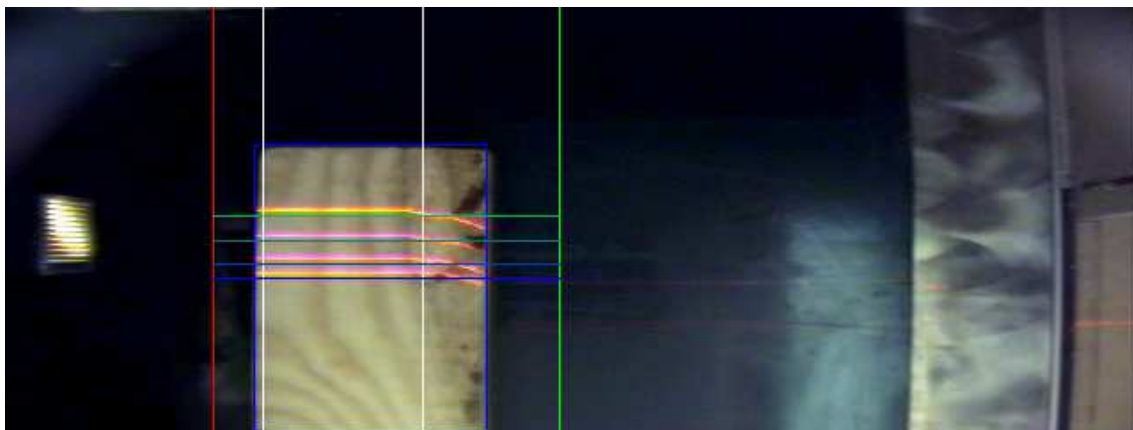


Figura 70: Nono frame processado do *block* exemplo

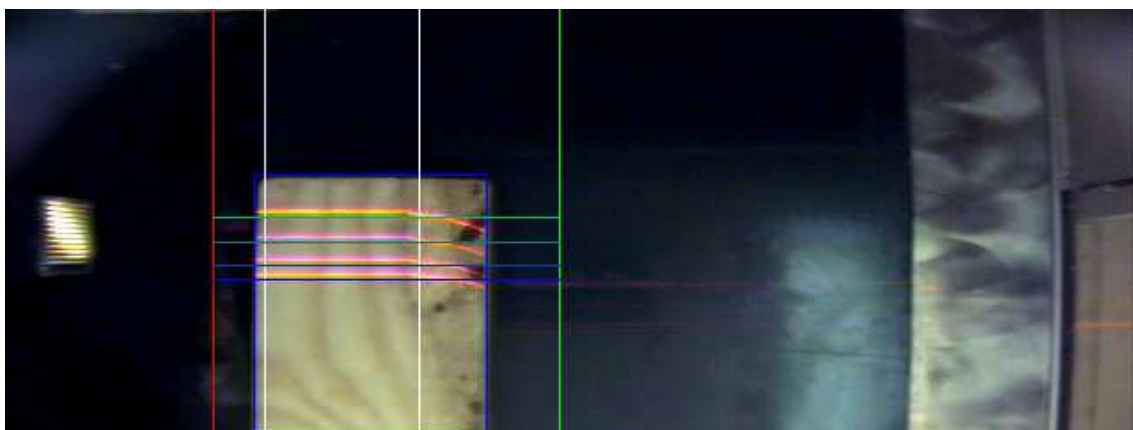


Figura 71: Décimo frame processado do *block* exemplo



Figura 72: Último *frame* processado do *block* exemplo

Nota-se nos 11 frames das figuras 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71 e 72 de um *block* processado pelo sistema, que os *lasers* passaram por toda a peça, garantindo assim que todo objeto seja analisado possibilitando com que os erros sejam mínimos, assim como o controle do processo e a qualidade do produto. Como pode ser visto o tamanho útil do *block* é gerado pela figura 70 o qual possui o nono frame capturado pelo fato do mesmo possuir a menor área útil utilizada.

Para calcularmos o tamanho do *block* foi desenvolvido um algoritmo de calibração, onde se passa a peça e se insere o tamanho do mesmo. Com essa informação, gera-se a quantidade de *pixels* que representa um milímetro, e desta forma é possível calcular o tamanho útil da madeira, classificando-a entre as classes existentes no processo.

A seguir será descrito os resultados obtidos nos testes realizados, os quais demonstram que o processo proposto tem diferenciais importantes se comparado ao processo utilizado atualmente.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos testes realizados mostram que o processo proposto gera mais classificação correta do que o modelo existente nos dias atuais da fábrica de molduras.

Estes resultados mostram que é possível diminuir os custos de produção existentes atualmente, além de diminuir os desperdícios de matéria prima, ocasionando mais ganho financeiro para a empresa além do ganho social relativo a preservação da natureza. Além disso, é possível diminuir a quantidade de árvores desmatadas e conseqüente menor custo para reflorestamento.

O resultado deste trabalho levou em consideração a divisão das classificações de *blocks* em quatro categorias, sendo elas:

- 80% ou mais de área útil
- de 60% a 79% de área útil
- de 40% a 59% de área útil
- de 25% a 39% de área útil
- Lixo

Na tabela 1 é comparado os tamanhos reais das peças seguindo com a classificação da solução atual.

A quantidade de peças processadas soma 1933, sendo que destas 1921 são consideradas úteis, as quais são divididas em 4 categorias de tamanhos (25%, 40%, 60% e 80%), sendo que este sistema classifica as mesmas em 3 categorias (50%, 25% e lixo). O lixo é considerado um *block* inútil para o processo, e este é descartado do processo, sendo utilizado posteriormente como lenha. Nota-se na tabela 1 que a quantidade de lixo soma 128 peças, das quais representam 6,6% do total.

O maior problema encontrado está na classificação de *blocks* com área útil maior do que o real, gerando 14 erros graves, sendo que estes podem representar de até 14 *blanks* defeituosos, os quais para a geração é necessário até 224 *blocks* que representam 11,66% de desperdício. Somando os dois desperdícios, calcula-se um total de 18,26% de perda.

Tabela 1: Resultados da solução atual.

Classificação Real	Quantidade	Solução Atual			Perdas	
		50%	25%	Lixo	Graves	Média Aceitável
80%	352	240	107	5	0	38,59%
60%	529	289	228	12	0	22,82%
40%	894	12	840	42	12	18,79%
25%	146	2	75	69	2	47,26%
Lixo	12	0	0	12	0	0,00%
Totais	1933	543	1250	140	14	

Fonte: Do Autor

Na tabela 2 é mostrado o resultado obtido com a solução proposta, onde foi classificado nas quatro classes propostas inicialmente. Tanto na tabela 1 quanto na tabela 2 o campo média aceitável é referente aos erros de classificação que geram perdas de utilização de área útil, porém não gera erros de perdas de molduras. Os erros classificados como graves são aqueles que causam uma perda das peças produzidas e é um fator de importante estudo, pois em cada *block* com este tipo de problema causa a perda de até outros quinze.

Nota-se nos dados obtidos na tabela 2 que a perda por classificação graves diminuiu consideravelmente se comparado ao processo utilizado atualmente na indústria, e que não foi perdido nenhum dos *blocks* que estiveram neste processo por falta de classificação ou por ser considerado lixo quando o mesmo não o é.

Os erros graves somam 8, sendo que na análise dos mesmos foi possível constatar que estes possuem esmoados pequeno e com baixa profundidade, o que causa uma descida muito pequena da linha laser. Por essa razão o laser não chega a sair da região delimitada do laser.

Tabela 2: Resultados da solução apresentada.

Classificação	Quantidade	Solução Apresentada					Perdas	
		80%	60%	40%	25%	Lixo	Graves	Média Aceitável
80%	352	308	28	11	4	1	0	3,75%
60%	529	2	493	29	2	3	2	1,80%
40%	894	0	2	673	208	11	2	4,72%
25%	146	0	0	4	127	15	4	10,27%
Lixo	12	0	0	0	0	12	0	0,00%
Totais	1933	310	523	717	341	42	8	

Fonte: Do Autor

Tabela 3: Comparação dos Resultados.

Área Útil	Quanti.	Perdas						Ganho		
		Solução Atual			Solução Apresentada			Graves	Aceitável	Lixo
		Graves	Aceitável	Lixo	Graves	Aceitável	Lixo			
80% (50% S.A.)	352	0	107	5	0	15	1	0	92	4
60% (50% S.A.)	529	0	228	12	2	31	3	-2	197	9
40% (25% S.A.)	894	12	42	42	2	208	11	10	-166	31
25% (25% S.A.)	146	2	0	69	4	0	15	-2	0	54
Totais	1921	14	377	128	8	254	30	6	123	98

Fonte: Do Autor

Uma comparação entre o resultado dos dois processos é mostrado na tabela 3, o qual mostra um ganho considerável em todo o processo, onde constata-se que a quantidade de erros graves diminuiu consideravelmente, além dos erros aceitáveis que tiveram uma redução grande. Constata-se nos dados de área útil de 40% que teve mais

erros aceitáveis, porém o mesmo não pode ser totalmente considerado em comparação com o sistema atual, visto que o sistema atual classifica esses *blocks* como 25% como ocorreu no sistema proposto, não acarretando assim uma perda em relação ao sistema atual como poderia ser constatado ao verificar nesta tabela.

Na tabela 4 pode-se constatar que diminui consideravelmente os erros quando somado as classificações de 80% e 60% somados que significam 50% no sistema atual e os 40% e 25% que significam 25% no sistema atual, o que ocorre na verdade na classificação do sistema atual.

Tabela 4: Comparação dos Resultados adaptado ao sistema atual.

Área Útil	Quanti.	Perdas						Ganho		
		Solução Atual			Solução Proposta			Graves	Aceitável	Lixo
		Graves	Aceitável	Lixo	Graves	Aceitável	Lixo			
80% e 60% (50% S.A)	881	0	335	17	2	15	4	-2	320	13
40% e 25% (25% S.A.)	1040	14	0	111	6	0	26	8	0	85
Totais	1921	14	335	128	8	15	30	6	320	98

Fonte: Do Autor

Em vista dos resultados e testes realizados, o uso destas técnicas é indicado para melhorar o processo utilizado atualmente na indústria. No entanto, essas técnicas podem no futuro ser aperfeiçoadas e melhoradas. Algumas das técnicas que podem ser exploradas é a utilização de lasers nas laterais para confirmar esmoados laterais, além disso. Outro teste que pode ser realizado no futuro é a utilização de um sistema embarcado através de uma placa FPGA para o processamento das imagens, o que pode dar uma garantia melhor de que o sistema será dedicado a uma finalidade apenas. Outro ponto que poderia ser útil na utilização é a retirada do CLP e o FPGA executar as funções de acionamentos, e com isso diminuindo os custos de equipamentos. Outras testes que podem ser desenvolvidos no futuro é a utilização de lasers em outros comprimentos de ondas juntamente com a troca dos filtros de radiação utilizados.

REFERÊNCIAS

ANTON, R. Álgebra Linear com Aplicações. Porto Alegre, 2001.

BONATO, Vanderlei. Projeto de um módulo de aquisição e pré-processamento de imagens colorida baseado em computação reconfigurável e aplicado a robôs móveis. 2004. 82 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação e Matemática Computacional – Mestrado e Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

COHEN, Marcelo. MANSSOUR, Isabel Harb. OpenGL: Uma abordagem prática e objetiva. Editora Novatec. São Paulo, 2006.

ECKES, George. The Six Sigma Revolution. Editora John Wiley e Sons, Inc. 2001.

FACON, Jacques. Processamento e Análise de Imagens. VI Escuela Brasileño Argentina de Informatica. Provincia de Córdoba, Argentina, 1993.

FACON, Jacques. Morfologia Matemática: Teoria e Exemplos. Editora Universitária Champagnat da Pontificia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 1996.

FACON, Jacques. Apostila de Processamento e Análise de Imagens. Apostila do curso de Mestrado em Informática Aplicada da Pontificia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2005.

GOMES, J.;VELHO,L. Computação Gráfica: Imagem. Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada – IMPA. Rio de Janeiro, 2002. 2. ed. 373 p.

GOMES, J.;VELHO,L. Fundamentos da computação gráfica. Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada – IMPA. Rio de Janeiro, 2003. 603 p.

GONZALES, Rafael C.;WOODS, Richard E.;EDDINS, Steven L. Digital Image Processing Using MATLAB. 609 p. Pearson. 2004.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Processamento de Imagens Digitais. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 2000. 509 p.

REISS, Mario L. L. Reconstrução Tridimensional Digital de Objetos à Curta Distância Por Meio de Luz Estruturada. 2007. Tese de Doutorado(Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, 2007.

RICHTER, Claudio. Controladores Programáveis. Curso de Automação Industrial, DEXTER Industria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos Ltda. 2001.

ROMANO, Vitor Ferreira. Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos. Editora Edgard Blücher Ltda. SENAI. São Paulo, 2002.

SWENSON, R.L. A real-time high performance universal colour transformation hardware system. Tese de Doutorado - University of Kent at Canterbury, Canterbury – Kent, 2000.

ULLMAN, S. High-level Vision: Object Recognition and Visual Cognition. Massachusetts Institute Tecnologic - MIT. Massachusetts, 2000. 412 p.

WHELAN, P. F.;MOLLOY, D. Machine Vision Algorithms in Java. Springer. Great Britain, 2002. 2 ed. 284 p.