

UTILIZAÇÃO DE VISÃO ARTIFICIAL PARA INSPEÇÃO DE SUPERFÍCIES METÁLICAS¹

Inspeção de Superfície de Metais Automatizada

Jorge Luís Pinto Magalhães²

Marcelo Pinheiro Sobra²

Rafael Moraes Alves³

Thielle Medeiros Oliveira³

Resumo

Este trabalho apresenta uma solução através dos sistemas de visão artificial para a inspeção de superfície de metais baseado na utilização de câmeras inteligentes. Para o perfeito funcionamento deste sistema foi necessário um estudo detalhado em várias áreas de conhecimento para concluirmos que alguns fatores como iluminação, lente, câmera e software se não ajustados corretamente e de forma integrada, impossibilitaria o seu perfeito funcionamento, pois os defeitos encontrados nas superfícies dos metais têm características específicas que somente a utilização da câmera isoladamente tornaria impossível sua identificação. Com o sistema proposto conseguimos descobrir, identificar e visualizar os problemas encontrados nas superfícies metálicas, melhorando a qualidade, diminuindo a interferência humana no processo, aumentando a velocidade de produção, eliminando retardo em pontos de inspeção, e com isso, maximizando os rendimentos, sendo comprovada a sua utilização em indústrias siderúrgicas alcançando a excelência neste tipo de inspeção.

Palavras-chave: Visão artificial; Câmeras inteligentes; Inspeção de superfície; Metais.

USE OF ARTIFICIAL VISION FOR INSPECTION OF METAL SURFACES Inspection of Metal Surface Automatized

Abstract

This work presents a solution through the systems of artificial vision for the inspection of metal surface based in the use of intelligent cameras. For the perfect functioning of this system it was necessary a study detailed in some areas of knowledge to conclude that some factors as lighting, lens, camera and software if not adjusted correctly and of integrated form, it would disable its perfect functioning, therefore the defects found in the surfaces of metals have specific characteristics that only the use of the camera separately would become impossible its identification. With the considered system we obtain to figure out, to identify and to visualize the problems found in the metallic surfaces, improving the quality, reduced the interference human being in the process, increasing the production speed, eliminating delays in points of inspection, and with this, maximizing the incomes, being proven its use in steel industries reaching the excellency in this type of inspection.

Key words: Artificial vision, intelligent cameras, inspection of surface and metals.

¹ *Contribuição técnica ao XI Seminário de Automação de Processos, 3 a 5 de outubro, Porto Alegre-RS*

² *Engenheiro da Computação.*

³ *Graduando de Engenharia da Computação*

1 INTRODUÇÃO

Desde a primeira revolução industrial, em 1750, o homem vem aprimorando suas técnicas de produção para melhorar a qualidade do produto fabricado e atender de maneira satisfatória o mercado mundial, pois os níveis de qualidade do mundo contemporâneo não admitem falhas que nossos primórdios aceitaríamos com menor nível de exigência.

Por esse motivo a inspeção de superfícies de metais se faz necessário pela aplicação onde estes são transformados em produtos, como por exemplo, na fabricação de carros, eletrodomésticos, entre outros. Alguns desses produtos são tão nobres e precisos que necessitam de uma superfície quase perfeita, para que os produtos também saiam dentro de um nível de qualidade aceitável (NQA).

Para os padrões exigidos hoje pelo mercado mundial e, mais especificamente o brasileiro, fica praticamente impossível o não surgimento de erros em um trabalho não automatizado, ficando a cargo da inspeção humana um serviço tão apurado.

A inspeção como são utilizadas em grande parte das empresas brasileiras ainda acontece na forma em que o ser humano tem papel fundamental na tomada de decisão, o que pode apresentar uma série de problemas como:

- falta de atenção durante todo o tempo de inspeção;
- a qualidade do produto fica condicionada a situação psicológica do operador;
- falha na detecção de pequenos erros encontrados na superfície inspecionada devido à alta velocidade no processo de produção;
- geração de passivo trabalhista devido ao DORT (Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho) antigo LER (Lesão por Esforço Repetitivo);
- pausa na produção para identificação correta do erro com redução significativa dos volumes de produção; e
- inspeção do produto apenas por amostragem.

Com isso, a solução para a inspeção de superfície de metais necessita de um processo em tempo real, eficiente e inteligente com capacidade de tomar decisões, em curto espaço de tempo. Em sistemas, de tempo real, críticos, nas quais uma resposta além do tempo especificado é tão grave quanto um resultado incorreto, falhas podem ter como consequência custos muito maiores do que o inicialmente investido no sistema.^[1]

Com a evolução da eletrônica e da informática foi possível transformar equipamentos que antes operavam de maneira analógica e imprecisa a trabalharem em forma digital, e o mesmo aconteceu com a evolução das câmeras, o que possibilitou o surgimento das câmeras digitais e com ela a possibilidade de torná-las um sensor de imagem inteligente (câmeras inteligentes), onde além de capturarem a imagem e digitalizá-la, são capazes de se comunicar com equipamentos emitindo sinais e tomarem decisões, tudo isso com tamanho, tempo e custo bem reduzidos. Para a captura e o armazenamento de imagens é indispensável uma infraestrutura adequada, isto é, equipamentos para a aquisição das imagens tais como câmeras digitais ou qualquer outra fonte de sinal de vídeo. Desse modo, a utilização da imagem na forma digital torna possível o seu processamento computacional, aumentando a sua qualidade.^[2]

Atualmente existem algumas câmeras inteligentes no mercado, escolhemos as câmeras da COGNEX por ser uma empresa líder do mercado mundial e a que se adequou muito bem aos níveis de qualidade que as empresas vêm buscando. Dentro da linha de câmeras inteligentes da COGNEX, trabalhamos com as da DVT, que por terem como característica maior relação custo x benefício do mercado, as

câmeras da DVT são câmeras compactas, micro processadas, de baixo custo, altamente precisas, entre outras características. O princípio de seu funcionamento é a captura da imagem para uma análise baseada numa configuração previamente determinada e os resultados dessas análises são comunicados diretamente da câmera para outros dispositivos digitais, como um CLP (Controlador Lógico Programável), por exemplo.

Para todos os tipos de defeitos encontrados em superfícies de metais são necessários técnicas de luminosidade e lente adequadas, para podermos identificá-los com precisão. Entre os vários fabricantes de lentes e iluminação existentes no mercado, escolhemos a Tamron e a Advanced Illumination, respectivamente por terem um grande *know-how* no mercado mundial.

Já definidas câmera, lente e iluminação, entramos no cenário da criação das ferramentas de software definindo como o sistema de inspeção tem que funcionar para identificar as falhas de superfície. Para desenvolver a ferramenta de software, utilizamos os conceitos de processamento digital de imagens.

O primeiro problema encontrado foi como embarcar nosso software desenvolvido na linguagem C++ nas câmeras da COGNEX. Vendo que isso não era possível, utilizamos o software Intellect, que permite a programação em C++, possibilitando, com isto, grande flexibilidade para atuarmos em qualquer tipo de problema. Além desta possibilidade, o intellect possui ferramentas pré-definidas que auxiliam na criação de ferramentas de inspeção.

2 METODOLOGIA

Com o estudo realizado e a possibilidade detectada de aplicação do sistema de visão artificial para inspeção de superfície metálica em escala industrial, foi realizado um contato com empresas do ramo para o desenvolvimento deste trabalho e assim obtermos resultados mensuráveis para demonstrar a qualidade do sistema, já que cada metal tem sua particularidade no processo de fabricação. Definimos a metodologia demonstrada na Figura 1 para o desenvolvimento do sistema de visão.

Seguindo essa metodologia iniciamos os testes para uma indústria siderúrgica.

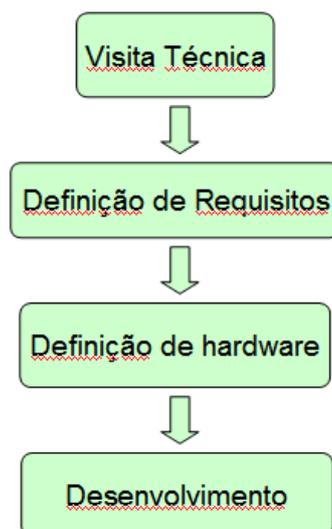


Figura 1 – Metodologia do Sistema de Visão Artificial.

2.1 Visita Técnica

Essa etapa da metodologia foi necessária para um estudo detalhado do ambiente onde funcionará o sistema de visão artificial, nesta etapa temos que definir alguns aspectos como: espaço físico ideal para implantação do sistema de visão, os hardware precisarão de proteção, variação da luminosidade, influência humana, processo atual, comunicação com sistemas nativos de automação, entre outros aspectos.

2.2 Definição dos Requisitos

A definição dos requisitos tem como objetivo definir todos os passos do novo sistema de visão, todos os detalhes que o cliente necessita para o perfeito funcionamento do sistema de visão desde detalhes da IHM (Interface Homem Máquina) aos do projeto de instalação elétrica. Esta etapa é muito importante para o funcionamento do sistema de visão, por que algum requisito não mapeado ou mapeado de forma incorreta contribuirá para o funcionamento incorreto do sistema de visão.^[3]

2.3 Definição do *Hardware*

A definição dos *hardwares* do sistema de visão leva em conta os requisitos e o local onde este funcionará, bem como, algumas características específicas de cada hardware (câmera, lente e iluminação).

2.3.1 Câmera

A inspeção de superfície do aço é um processo rápido e preciso, por isso para automatizar esse processo requer uma resposta rápida do sistema. A utilização de uma câmera inteligente onde todo o processamento e controle estão embarcados junto a ela torna-se vital. Existem vários modelos de câmeras, e cada uma tem sua particularidade, a Tabela 1 demonstra as especificações da câmera da COGNEX do modelo DVT utilizada, a LineScan (LS).

A LineScan (LS) foi utilizada por ser uma câmera muito rápida e de alta resolução, isso se deve pelo fato do sistema de visão necessitar de muitas ferramentas para a identificação das falhas existentes nas superfícies metálicas e um grande campo de visão para inspecionar toda a superfície. É muito indicada para inspeção de produtos contínuos e longos.

Tabela 1 – Características da câmera Line Scan (LS) da COGNEX do Modelo DVT.^[4]

Color Vision Sensors		LINE SCAN
		LS
Performance Multiplier	Average overall performance vs. a Model 535C	6X
Memory	Firmware & Job Storage	16MB
Camera	Resolution	2048 x 1
	Imager Size	1-inch CMOS
	Color	No
	Acquisition Rate (frames per second)	18k line per sec
	Partial Image Acquisition	Yes
	Protection Rating	IP51
Display Options	SmartLink to VGA	Yes
I/O Options	Trigger/No. of High-speed Outputs	8
	I/O Breakout/Expansion Modules	Yes
	Ethernet I/O Support (up to 512in/ 512out)	Yes
Communication Options	Ethernet & RS232 (with optional Ethernet to serial converter CON-ETS)	Yes
Lighting	Integrated LED Lighting Available	No
Application Development	Intellect 1.3 or higher required	Required for continuous mode operation
	Compatible with FrameWork	No
Lens Mount	C or C5	Both
Vision Tool Support	Preprocessing	Yes
	Positioning	Yes
	Counting	Yes
	Measurement	Yes
	Identification (modeling)	Yes
	Readers (1D, 2D, OCR/OCV) ¹	Yes
	Flaw Detection	Yes
	Script	Yes
Power Consumption	Voltage Requirement	24VDC +/- 10%
	Maximum Current (Not including lighting)	300mA
Max Oper.Temp.	Camera	45 deg C
Approvals	CE, RoHS	CE ²

2.3.2 Iluminação

A iluminação mais apropriada para a inspeção de superfície é a iluminação *DarkField*, onde a luz é projetada de forma direta na superfície com um ângulo de 45°. Como podemos observar na Figura 2.^[5]

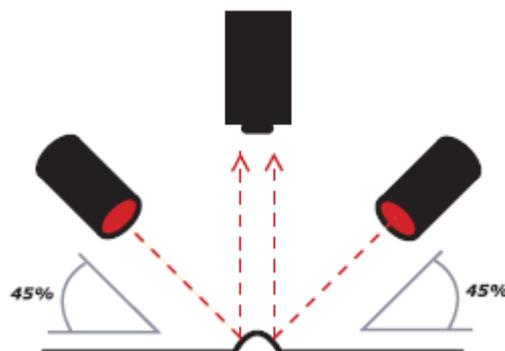


Figura 2 – Iluminação *DarkField*

A iluminação *DarkField* é utilizada em grande parte em superfície refletiva e irregular enfatizando o relevo, criando um contraste do relevo, que brilha, realçando as falhas enquanto as superfícies mais regulares ficam escuras.^[5]

A iluminação utilizada foi à base de *led* (*light emitting diode*) porque proporciona maior durabilidade, estabilidade e desempenho. Disponível em vários range de cores, sendo versáteis e com grande economia e eficiência de energia.^[5]

A cor do *led* mais aplicada em sistemas de visão é a vermelha, mas em aplicações de inspeção de superfícies, a cor mais apropriada é a verde.^[5] A figura 3 a e b mostra um exemplo de iluminação verde.

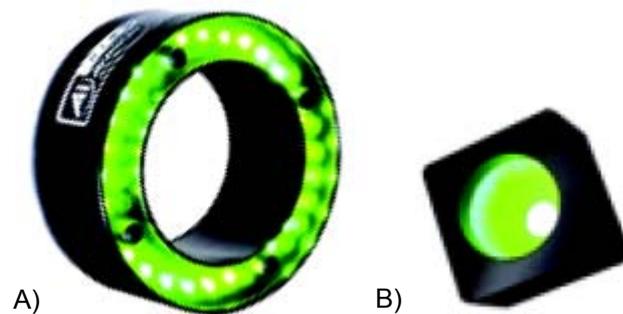


Figura 3 A e B – Iluminação Verde

Utilizamos uma iluminação estroboscópica pelo fato da superfície a ser inspecionada, na maioria dos casos, estarem em movimento, por este motivo necessitamos fazer a sincronização da freqüência de iluminação com o tempo de exposição de captura da imagem conseguindo assim máxima intensidade.^[5]

2.3.3 Lentes

O importante para definição da lente utilizada neste tipo de sistema é o campo de visão e o tamanho do objeto a ser inspecionado. No caso da inspeção de superfície do aço, seria qual a sua dimensão, o tamanho da falha a ser inspecionada e a precisão em caso de dimensionamento.

A Figura 4 ilustra a definição da lente em relação ao campo de visão.

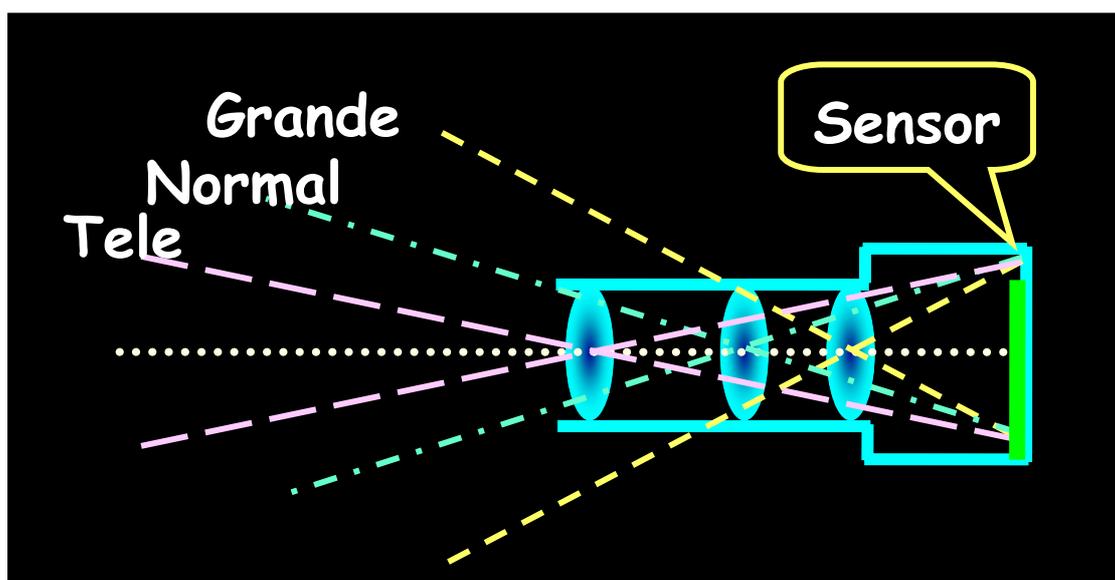


Figura 4 – Relação da Lente com o campo de visão.

Analisando a Figura 4, podemos definir que quanto maior for a distância focal, mais a lente aumentará o tamanho do objeto. Quando temos erros de dimensões pequenas, temos que utilizar a lente para aumentar esse objeto, se o campo de visão ficar menor que as dimensões a inspecionar, serão necessárias, a utilização de mais de uma câmera.

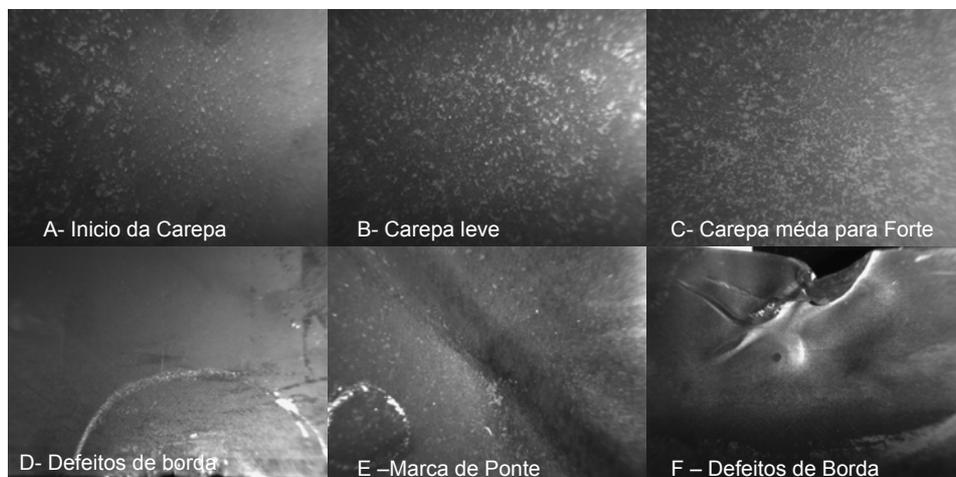
A lente utilizada neste caso foi a 5.0-50 mm CS ZOOM da Tamron, por que ela tem zoom, variação da abertura da íris e do foco, onde foram efetuados vários testes para definição precisa da lente.^[6]

2.4 Desenvolvimento

Diversas técnicas de reconhecimento de imagens têm sido apresentadas na literatura e geralmente são validadas através de protótipo de aplicações, pois em um ambiente industrial, raramente obtém-se as condições ideais de iluminação, contraste, posicionamento correto da peça, e do ângulo de obtenção da imagem, além de outros fatores externos que dificultam a interpretação de uma imagem.^[7-10]

Com a ajuda de uma empresa siderúrgica que nos solicitou o desenvolvimento de um exame minucioso da superfície do aço produzido na etapa de laminação de tiras a quente, nos cedendo as amostras dos principais problemas para começarmos a realizar os testes de eficiência e confiabilidade do sistema de visão. Os problemas encontrados com mais frequência foram: carepa, este dividido em 3 classificações fraca, média e forte, defeitos de borda, abrasão, este também classificado em 3 níveis fraca, média e forte e marcas de ponta.

A Figura 5 demonstra imagem retirada desses problemas.



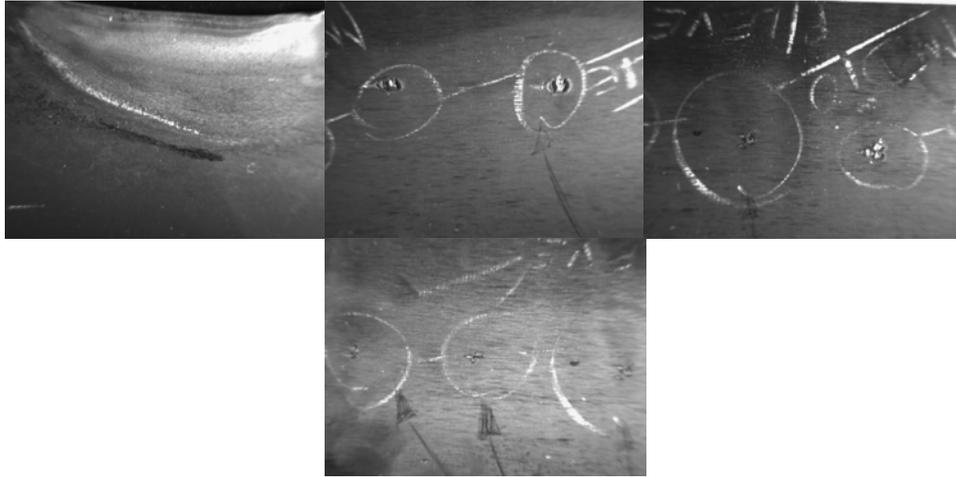


Figura 5 – Problemas encontrados nas superfícies de aço.

Para solucionarmos estes problemas encontrados foi necessário o desenvolvimento de software que controlasse o processo de inspeção de aço.

O software utilizado para o desenvolvimento do trabalho de processamento digital de imagens foi o intellect, pois este se encontra embarcado na câmera escolhida, a COGNEX-DVT LineScan (LS), que possibilita o desenvolvimento de ferramentas específicas na linguagem de programação C++ e ainda tem condições de se integrar com outras linguagens de desenvolvimento de software, possibilitando a construção de uma IHM (Interface Homem Máquina) com alta qualidade.

O processamento de imagens manipula informações de imagens bidimensionais (2D). Qualquer operação realizada para melhorar, corrigir, analisar ou, de alguma forma, alterar a imagem é chamada de processamento de imagens.^[11]

O intellect é um excelente software para auxiliar no processamento digital de imagens pelo fato de ter várias ferramentas já desenvolvidas e com a possibilidade de configurar vários parâmetros de acordo com a solução desejada.

Para solucionar os problemas nas superfícies de aço foram utilizadas algumas ferramentas próprias do intellect, entre elas, a ferramenta de “script” que permite a programação em C++ para gerenciar todas as repostas enviadas pelas as ferramentas do intellect e ainda a integração com o software C# (C Sharp) da plataforma Microsoft “Dot Net” o que possibilitou a construção de IHM (Interface Homem Máquina) para interação com os operadores da linha.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o desenvolvimento do sistema de visão baseado nas amostras colhidas em uma indústria siderúrgica obtivemos os resultados demonstrados na Figura 6 e Tabela 2.

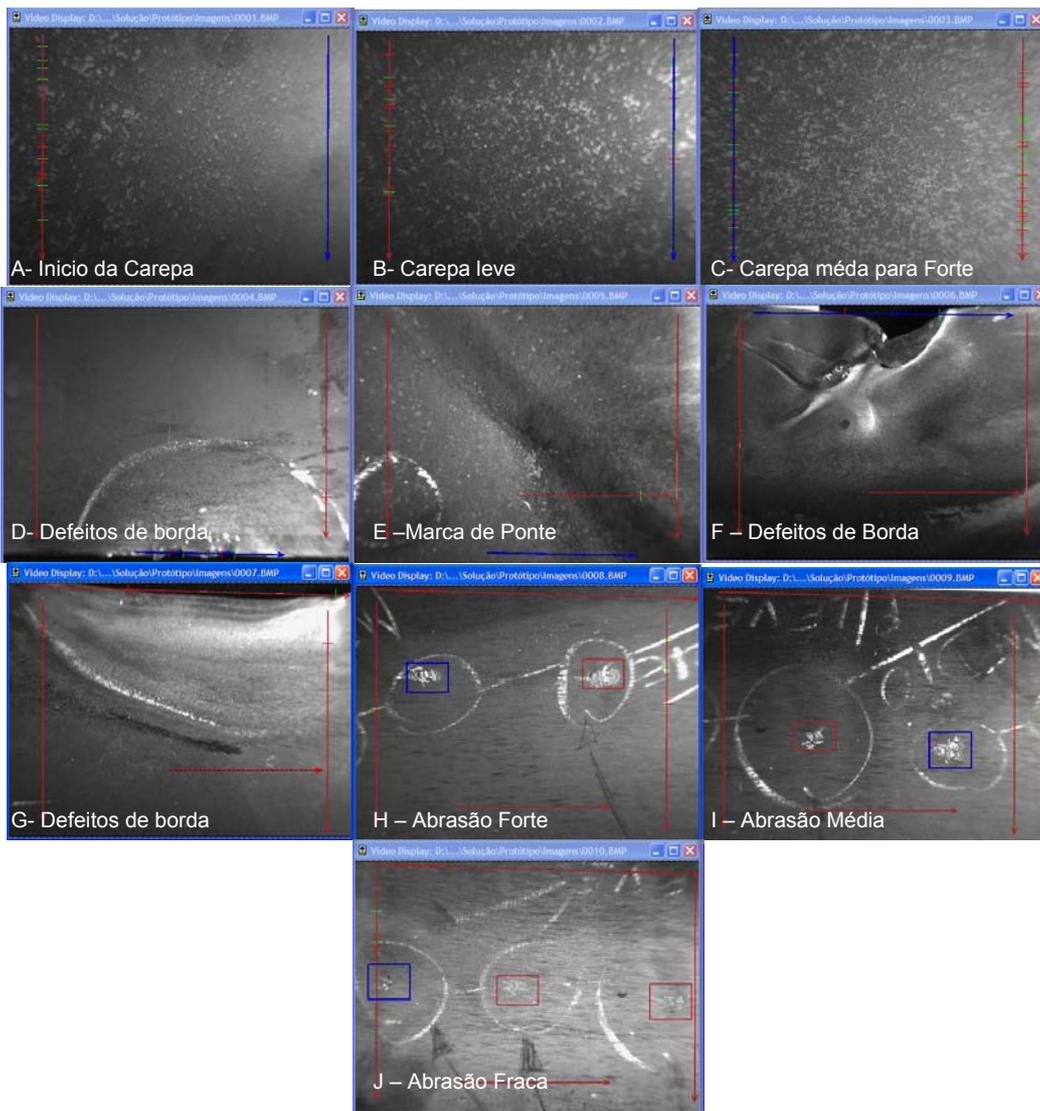


Figura 6 – Ferramentas aplicadas nas Imagens das superfícies de aço.

Tabela 2 – Resultados obtidos com a aplicação das ferramentas nas imagens retiradas da superfície de aço.

Imagem – 0001			Imagem - 0002		
Ferramenta	Saída	Resultado	Ferramenta	Saída	Resultado
Abrasão1	Num. Objeto = 0	PASS	Abrasão1	Num. Objeto = 0	PASS
Abrasão2	Num. Objeto = 0	PASS	Abrasão2	Num. Objeto = 0	PASS
Abrasão3	Num. Objeto = 0	PASS	Abrasão3	Num. Objeto = 0	PASS
Carepa1	Count = 22	FAIL	Carepa1	Count = 17	FAIL
Carepa2	Count = 0	PASS	Carepa2	Count = 12	FAIL
DY	Count = 0	PASS	DY	Count = 0	PASS
MP	Count = 0	PASS	MP	Count = 0	PASS
Imagem – 0003			Imagem - 0004		
Ferramenta	Saída	Resultado	Ferramenta	Saída	Resultado
Abrasão1	Num. Objeto = 0	PASS	Abrasão1	Num. Objeto = 0	PASS
Abrasão2	Num. Objeto = 0	PASS	Abrasão2	Num. Objeto = 0	PASS
Abrasão3	Num. Objeto = 0	PASS	Abrasão3	Num. Objeto = 0	PASS
Carepa1	Count = 30	FAIL	Carepa1	Count = 17	PASS
Carepa2	Count = 31	FAIL	Carepa2	Count = 1	PASS
DY	Count = 0	PASS	DY	Count = 4	FAIL
MP	Count = 0	PASS	MP	Count = 0	PASS
Imagem – 0005			Imagem - 0006		
Ferramenta	Saída	Resultado	Ferramenta	Saída	Resultado
Abrasão1	Num. Objeto = 0	PASS	Abrasão1	Num. Objeto = 0	PASS
Abrasão2	Num. Objeto = 0	PASS	Abrasão2	Num. Objeto = 0	PASS
Abrasão3	Num. Objeto = 0	PASS	Abrasão3	Num. Objeto = 0	PASS
Carepa1	Count = 1	PASS	Carepa1	Count = 4	PASS
Carepa2	Count = 0	PASS	Carepa2	Count = 0	PASS
DY	Count = 0	PASS	DY	Count = 2	FAIL
MP	Count = 2	FAIL	MP	Count = 0	PASS
Imagem – 0007			Imagem - 0008		
Ferramenta	Saída	Resultado	Ferramenta	Saída	Resultado
Abrasão1	Num. Objeto = 0	PASS	Abrasão1	Num. Objeto = 1	FAIL
Abrasão2	Num. Objeto = 0	PASS	Abrasão2	Num. Objeto = 1	FAIL
Abrasão3	Num. Objeto = 0	PASS	Abrasão3	Num. Objeto = 0	PASS
Carepa1	Count = 1	PASS	Carepa1	Count = 2	PASS
Carepa2	Count = 1	PASS	Carepa2	Count = 5	PASS
DY	Count = 2	FAIL	DY	Count = 0	PASS
MP	Count = 0	PASS	MP	Count = 0	PASS
Imagem – 0009			Imagem - 0010		
Ferramenta	Saída	Resultado	Ferramenta	Saída	Resultado
Abrasão1	Num. Objeto = 1	FAIL	Abrasão1	Num. Objeto = 1	FAIL
Abrasão2	Num. Objeto = 1	FAIL	Abrasão2	Num. Objeto = 1	FAIL
Abrasão3	Num. Objeto = 0	PASS	Abrasão3	Num. Objeto = 1	FAIL
Carepa1	Count = 0	PASS	Carepa1	Count = 3	PASS
Carepa2	Count = 1	PASS	Carepa2	Count = 0	PASS
DY	Count = 0	PASS	DY	Count = 0	PASS
MP	Count = 0	PASS	MP	Count = 0	PASS

Como podemos demonstrar com a tabela acima onde *PASS* significa “APROVADO” e *FAIL* significa “FALHA” do problema encontrado na superfície, podemos ver que todas as irregularidades foram encontradas quando surgiram e não encontradas quando ausente.

Vimos que, com a implantação do sistema de visão artificial para a inspeção de superfície de metais as melhorias de qualidade do produto e do processo se tornaram evidentes.

Conseguimos observar que até problemas de logística para substituição de equipamentos danificados conseguiríamos resolver reduzindo sobremaneira os problemas de reposição de outros sistemas já implantados.

Antes da inspeção automatizada, as paradas de máquina no processo produtivo era uma realidade difícil de ser mudada e consequentemente reduzia a

eficiência da linha e da produção como um todo, possibilitando alterações em tempo real ou em paradas de máquinas programadas.

A evolução do processo com este tipo de sistema permitiu ao operador ser informado em tempo real da ocorrência do problema com a montagem de um banco de defeitos nas mesmas condições e a conseqüente armazenagem das imagens que apresentaram falhas de produção.

4 CONCLUSÃO

A conclusão que chegamos foi uma grande satisfação por parte da empresa siderúrgica que nos solicitou o desenvolvimento deste trabalho, após a demonstração, e de acordo com as amostras cedidas do aço na etapa de laminação de tiras a quente, conseguimos identificar e quantificar todos os defeitos. Certificamos também a eficácia do estudo, onde os fatores considerados como pilares para o funcionamento do sistema de visão se comprovaram, e somente com a utilização integrada da iluminação, lente e câmera foi possível obter uma imagem de qualidade sendo possível, através do software, identificar e quantificar os erros encontrados. Com a utilização do software intellect e das câmeras da COGNEX da linha DVT foi identificado que sistemas de inspeção de visão artificial podem ser aplicados em superfície de aço e também ser expandido para outros tipos de superfícies metálicas.

Agradecimentos

Em primeiro lugar a Orion Automation & Systems empresa do ramo de automação certificada como integradora de solução COGNEX-DVT por nos possibilitar o desenvolvimento desse trabalho, ao Centro Universitário de Barra Mansa-RJ (UBM) por nos dar infraestrutura técnica e a todos nossos familiares.

REFERÊNCIAS

- 1 PUSCHNER, P., SCHEDL, A..Computing Maximum Task Execution Times with Linear Programming Techniques. Technische Universität Wien, Research Report 18/95, Abril 1995.
- 2 MOREIRA, Daniel A.. Reengenharia Dinâmica para a Mudança. São Paulo: Pioneira, 1994.
- 3 Sistemas de Visão Artificial e Aplicações de Sistema de visão artificial. Disponível em: <http://www.orion-automation.com.br>. Acesso em: 20 jun. 2007.
- 4 <http://www.cognex.com> Acesso em: 14 jun 2007.
- 5 <http://www.advancedillumination.com> Acesso em: 14 jun 2007.
- 6 <http://www.tamron.com> Acesso em: 15 jun 2007.
- 7 WEEKS, ARTHUR R. JR.; Fundamentals of Electronic Image Processing, SPIE/IEEE Series on Imaging Science & Engineering, IEEE PRESS, 1996.
- 8 RUSS, J. C. The Image Processing Handbook; 2nd Edition, CRC, 1995.
- 9 YANG, Y.; YAN, H. An adaptive logical method for binarization of degraded document images, Pattern Recognition, vol. 33, 2000, pp. 787-807.
- 10 CHENG, H. D.; XU, H. X.; A novel fuzzy logic approach to contrast enhancement, Pattern Recognition, vol.33, 2000, pp. 809-819.
- 11 GONZALES, R., WOODS, R.. Digital Image Processing. EUA: Addison Wesley, 1992.