

SISTEMAS PARA AUTOMATIZAÇÃO DE PROCESSOS POR MEIO DE VISÃO COMPUTACIONAL NAS INDÚSTRIAS SIDERÚRGICAS E METALÚRGICAS¹

Marcelo Borghetti Soares²
Luiz Fernando Etrusco Moreira³
Lucas Ferreira de Melo Diniz⁴
Alysson Ribeiro das Neves⁵

Resumo

Este artigo tem como objetivo apresentar aplicações de sistemas de visão nas indústrias metalúrgica e siderúrgica. Esses sistemas podem ser utilizados para tarefas que incluem, por exemplo, análise dimensional, detecção, inspeção e rastreamento de peças. Inspeções automatizadas na indústria garantem menor variabilidade dos produtos e consequentemente maior qualidade final, diminuem riscos de acidentes intrínsecos ao processo não automatizado, além de reduzir o tempo de produção e a quantidade de retrabalho. Os sistemas podem ser altamente customizados em função das necessidades de cada processo, como restrições de tempo de resposta e precisão. A implantação dos sistemas nos setores não é trivial, já que, por trabalharem de forma contínua e com poucas paradas, intervenções na linha para realização de testes são indesejáveis. Ao contrário de outros setores, onde o ambiente é mais controlado em relação à iluminação e ruídos, em ambientes de siderurgia e metalurgia o controle dessas variáveis é em alguns casos inviável, obrigando maior robustez do sistema. Outro fator muito importante é a necessidade de integração do sistema com as linhas de automação do processo e com sistemas de gerenciamento de informações (como por exemplo PIMS e MES), tarefa essa que deve ser criteriosamente avaliada de forma a garantir a qualidade dos dados. Finalmente, os resultados obtidos com a implantação desses diversos sistemas validaram sua utilização, reduzindo os riscos de acidentes, tempo na produção e aumentando a qualidade do produto.

Palavras-chave: Visão computacional; Indústria; Processos; Sistemas; Otimização.

SYSTEMS FOR PROCESS AUTOMATIZATION USING COMPUTER VISION IN SIDERURGY AND METALLURGY

Abstract

This paper aims to present computer vision applications in siderurgy and metallurgy. These systems can be used in tasks such as dimensional analysis, detection, inspection and tracking of parts. Automatic inspection in industry guarantee less variability in products made and, as a consequence, higher quality. Also, it reduces the chance of accidents related to non automated process and decreases the production time and the amount of rework. The systems can be highly customized based in the necessities of each process, such as time restrictions and precision. The implementation in the production line is not easy, because intervention in the line to make tests are undesirable, as a result of requirements of the process that should be continuous and with few stops. Contrary to other sectors, where environment is less susceptible to illumination variability and noise, in metallurgy and siderurgy, the control of these variables in some cases is impossible, requiring more robustness of the system. Other important factor is the necessity of system integration with automation lines and with Information Management Systems (such as PIMS and MES), with should be carefully assessed to guarantee the quality of the results. Finally, the utilization of automatic inspection using computer vision was validated, reducing the risks of accidents, production time and increasing the quality of the product.

Keywords: Computer vision; Industry; Process; Systems; Optimization.

¹ Contribuição técnica ao 16º Seminário de Automação e TI Industrial, 18 a 21 de setembro de 2012, Belo Horizonte, MG.

² Doutor em Ciência da Computação e Gerente de Software da Invent Vision. borghetti@ivision.ind.br

³ Doutor em Engenharia Elétrica e Diretor de Tecnologia da Invent Vision. luizf@ivision.ind.br

⁴ Engenheiro de Controle e Automação e Gerente de Projetos na Invent Vision. lucas@ivision.ind.br

⁵ MBA em Gerenciamento de Projetos e Gerente de Programas e Projetos na Invent Vision. alysson.neves@ivision.ind.br

1 INTRODUÇÃO

O foco principal da visão computacional é extrair informações a partir de um conjunto de imagens para serem utilizadas em alguma aplicação. Por exemplo, um robô que inspecione o interior de dutos em busca de algum defeito pode fazê-lo autonomamente a partir de um conjunto de imagens. Porém, para que essas imagens possam ser aproveitadas, é necessário aplicar uma série de procedimentos sobre elas, de forma a:

- corrigir problemas causados pela variação de luminosidade (o cenário pode ser não controlado ou estar em campo aberto, por exemplo);
- corrigir variações de orientação, distorções ou efeitos de perspectiva causados pelo processo de captura de imagens; E
- tratar a baixa qualidade de visualização de objetos causados pelo ambiente inóspito, sujeiras, etc. para tanto, técnicas cada vez mais poderosas de segmentação precisam ser empregadas.

A aceitação da visão computacional tem sido alavancada devido à sua relação com outras áreas, por exemplo, robótica e processamento digital de imagens. Na indústria, cresce o interesse por aplicações que diminuam a intervenção humana, uma vez que além de garantir mais robustez e repetitividade, diminui a chance de acidentes em ambientes críticos.

Esse artigo irá mostrar exemplos de aplicações nos quais visão computacional foi utilizada para automatizar processos na indústria siderúrgica e metalúrgica. Serão apresentados os componentes principais que um sistema de visão precisa ter, assim como a maneira pela qual esses sistemas são integrados na linha de produção.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A implantação de um sistema de visão computacional requer o entendimento dos componentes desse sistema. Esses componentes serão descritos a seguir⁽¹⁾.

2.1 Componentes de um Sistema de Visão

- **Câmeras:** as câmeras são os dispositivos responsáveis por capturar imagens dos objetos ou regiões inspecionados. A escolha da câmera ideal requer a definição cuidadosa de parâmetros tais como resolução, sensibilidade, velocidade de aquisição (*frame rate*), interfaces padrão e eventualmente faixa espectral.
- **Ótica:** a escolha das lentes e filtros deve levar em consideração a distância focal e a distância de trabalho, de forma a permitir a captura de imagens ideais. Lentes inadequadas podem ocasionar imagens com distorção além do tolerado, o que dificulta os métodos de visão computacional.
- **Sistema de Iluminação:** nos ambientes de siderurgia, a variação de luminosidade pode ser brusca devido à presença de elementos incandescentes causados, por exemplo, pelo carregamento de ferro gusa em uma panela. Dentre as opções de iluminação podem-se citar as lâmpadas fluorescentes e halógenas, além de iluminação por *leds*.

- **Software:** o software é o componente principal do sistema de visão e pode ser executado pelo computador ou por um processador embutido na câmera, no caso das chamadas *Smart Cameras*.
- **Unidade de Interface - IHM e Unidade de E/S:** os sistemas de visão possuem algumas interfaces principais, além da interface com a câmera: a interface com o operador e a interface com a automação. A interface com o operador do sistema normalmente é composta por um sinótico simplificado que mostra ao operador questões críticas do teste ou do status do sistema, permitindo a rastreabilidade das peças e sinais luminosos ou sonoros indicando alguma condição de alerta aos operadores. Já a interface com a automação envolve comunicação via portas serial e/ou ethernet, ou qualquer outro meio de comunicação do computador com um hardware externo capaz de transmitir sinais de controle para a automação.

2.2. Etapas das Operações em uma Aplicação

O funcionamento de um sistema de visão para uma aplicação típica possui as seguintes etapas:

- **Captura:** nesse módulo são capturadas as imagens a partir das câmeras que fazem parte do sistema;
- **Análise cena:** a partir das imagens capturadas é possível analisar a qualidade do ambiente em relação à variabilidade. O principal fator que impacta a variabilidade é a iluminação, pois muitos sistemas são projetados para trabalhar em espaços abertos sujeitos a intensas variações ambientais;
- **Pré-processamento:** várias técnicas de processamento digital de imagens podem ser aplicadas: detecção de bordas e segmentação quando é necessário identificar objetos, remoção de ruídos, correção de posicionamento para que todas as imagens estejam em relação ao mesmo referencial, etc. Nesse caso a entrada para esse módulo é uma imagem e a saída outra imagem que evidencia alguma característica ou corrige algum problema que possa dificultar o seu processamento;
- **Método de visão:** com a imagem pré-processada segue a aplicação do algoritmo de visão. Assim como a etapa anterior esse módulo depende do problema que está sendo solucionado. Assim, algoritmos para tratar problemas de análise dimensional requererão métodos diferentes de algoritmos para rastreamento, por exemplo.
- **Interface com outros sistemas ou com operador:** a utilização de visão computacional na indústria visa a inspeção automatizada de processos. Dessa forma, o resultado dessa inspeção precisa ser enviado para algum sistema supervisor. Por exemplo, se a inspeção de uma peça metálica concluir que a peça está em perfeitas condições, essa informação precisa ser repassada para controle e monitoramento daquele processo. Existe uma série de protocolos para comunicação entre dispositivos na indústria como PLC's. O protocolo mais utilizado é OPC (*OLE for Process Control*) que é disponibiliza uma interface de padronizada para desenvolvimento de aplicações.

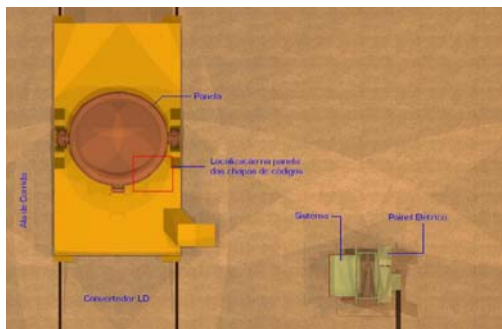
2.3 Exemplos de Casos

2.3.1 Sistema de identificação e rastreamento de peças

Sistemas de rastreabilidade são importantes ferramentas nos processos produtivos atuais, pois permitem que um lote, produto ou componente seja identificado tanto durante o processo produtivo quanto após a comercialização. Existem várias técnicas que permitem a identificação e rastreamento de objetos. Além da dificuldade inerente ao processo de identificação em si, um dos maiores problemas está relacionado ao fato de que as peças geralmente encontram-se em movimento, o que requer o sistema de captura seja projetado de forma a considerar um *frame rate* aceitável. Essas técnicas são mostradas e discutidas a seguir.

- Identificação e rastreamento utilizando símbolos geométricos:**⁽²⁾ nesse caso, símbolos geométricos podem ser anexados ao objeto a ser rastreado, bastando apenas que os padrões dos símbolos sejam distintos a ponto de garantir a diferenciação de todos os objetos a serem rastreados. A Figura 1(a) mostra um cenário composto por um carro transportador que carrega painéis utilizados para carregamento de ferro gusa em uma aciaria. Em 1(b) mostra-se um câmera que captura imagens dessas painéis e o sistema de iluminação utilizado. Na panela mostrada na Figura 1(c)-(d) é possível ver uma placa anexada à panela para identificação. Essas placas possuem uma codificação especial de símbolos de forma a facilitar a identificação (Protocolo de Patente INPI nº. 014100002184 – Invent Vision e Siemens).

A Figura 1(f) mostra um exemplo de identificação real de uma aciaria. As placas sofrem um degradação devido ao processo ao qual são submetidas. Conforme pode ser observado, mesmo com sujeira na placa, ocludindo parcialmente os símbolos, a identificação dos parâmetros pode ser feita.



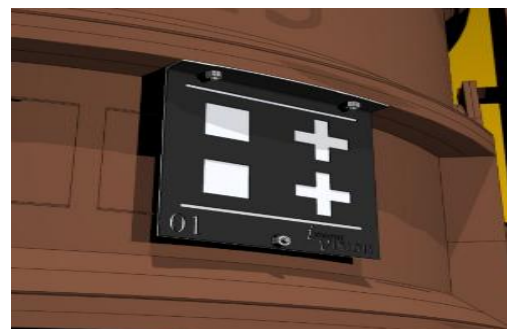
(a)



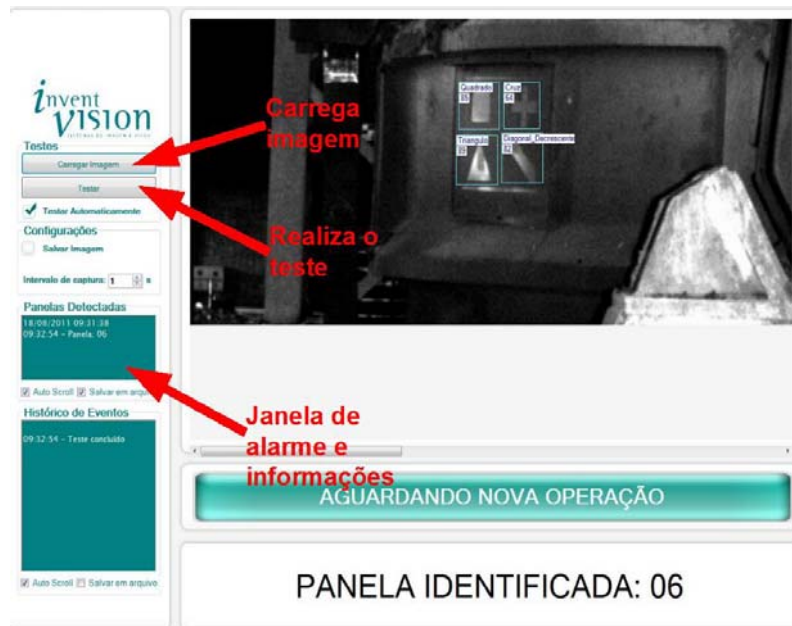
(b)



(c)



(d)



(f)

Figura 1. (a) Cenário no qual um carro transportador carrega uma panela carregada de ferro gusa. (b) Sistema de visão composto por uma câmera capturando imagens da panela e sistema de iluminação. (c)-(d) Dois exemplos de placas com codificação de símbolos diferentes anexados às panelas. (f) Identificação de uma panela em aciaria. Os símbolos da placa estão sujos dificultando a identificação. O grau de casamento de cada símbolo com seu modelo ideal é mostrado no interior de cada retângulo mostrado. A conjunção desses valores determina a placa identificada.

- **Identificação e rastreamento utilizando códigos *Datamatrix*:** o rastreamento de peças pode ser feito por meio de códigos 2D *Datamatrix* anexados ao objeto inspecionado. As vantagens da utilização desse tipo de codificação se devem pela redundância inerente ao código. Dessa forma, mesmo com códigos parcialmente oclusos ou defeituosos, o sistema consegue identificar a peça com elevado grau de eficiência. Em contrapartida, é necessário que o processo seja desenvolvido de forma a incluir algum dispositivo ou impressora de códigos *Datamatrix*. A Figura 2 mostra dois casos de identificação: 1) identificação de códigos em uma peça estática e 2) identificação de códigos em uma peça em movimento.

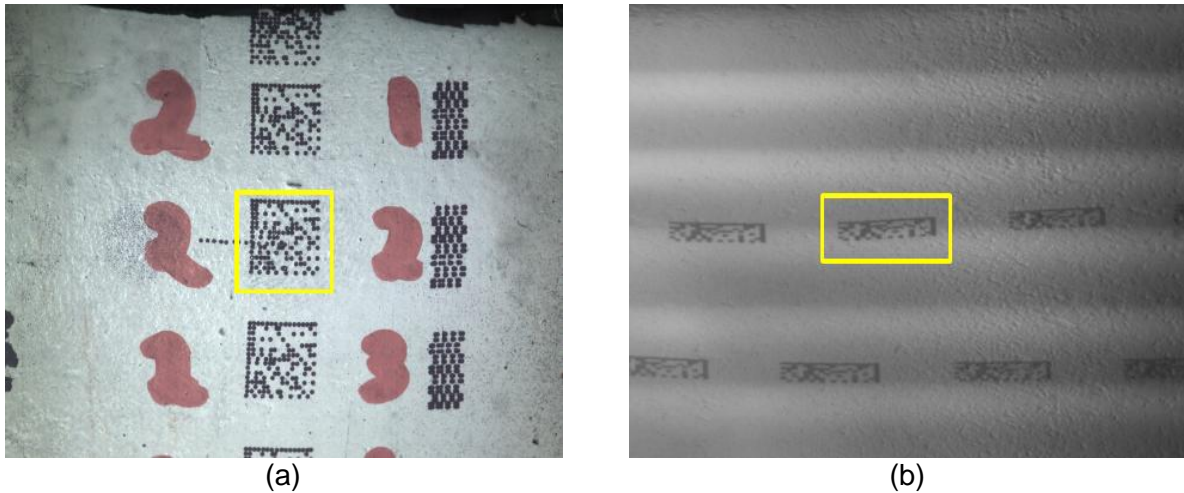


Figura 2. (a) Identificação de de códigos Datamatrix em uma peça estática. (b) Identificação de códigos Datamatrix em uma peça em movimento.

- Identificação por OCR:**⁽³⁾ outro método interessante de rastreabilidade é baseado na identificação e leitura de textos em chapas metálicas. O princípio adotado é o de Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR), técnica amplamente difundida em *scanners* de uso pessoal e em aplicações que demandam de alguma interferência pessoal para realizar a identificação de determinado texto. Alguns exemplos destas aplicações podem ser encontrados nos sistemas de leitura de placas de automóveis, utilizadas em radares de fiscalização, e leitura e teste da tela de instrumentos em geral. As dificuldades em relação a sistemas dessa natureza devem-se, novamente, a grandes variações de luminosidade e legibilidade dos caracteres impressos, conforme mostrado na Figura 3.



Figura 3. (a) Imagem de uma peça metálica rotacionada e de difícil visualização. No canto inferior direito é mostrada a região de interesse após o processamento. Além dos caracteres terem se tornado legíveis a rotação da peça foi corrigida.

2.3.2 Sistemas de análise dimensional

Os produtos fabricados pelas indústrias siderúrgicas precisam seguir normas rígidas em relação à sua dimensão. Portanto, à fabricação de peças como chapas,

tubos etc., segue-se um processo de mensuração de forma a garantir que o cliente final não receba produtos fora da sua especificação final.

De forma a garantir que essa mensuração esteja dentro do limite estabelecido, a escolha da resolução da câmera e óptica é de fundamental importância pois garante que a imagem tenha qualidade suficiente para a realização do processo de medição

- Medição de comprimento em peças:** a Figura 4 mostra um pórtico projetado para fazer análise dimensional em peças com variação de tamanho. Para que isso seja possível esse pórtico compreende em sua parte superior, um conjunto de câmeras que conseguem cobrir toda a área de trabalho a ser inspecionada. Assim, tão logo a peça se encontra no berço, os limites físicos dessa peça precisam ser determinados automaticamente. Essa operação seleciona o par de câmeras com as imagens que possuem as extremidades. Como a posição relativa entre as câmeras é conhecida, é possível computar a dimensão total da peça.

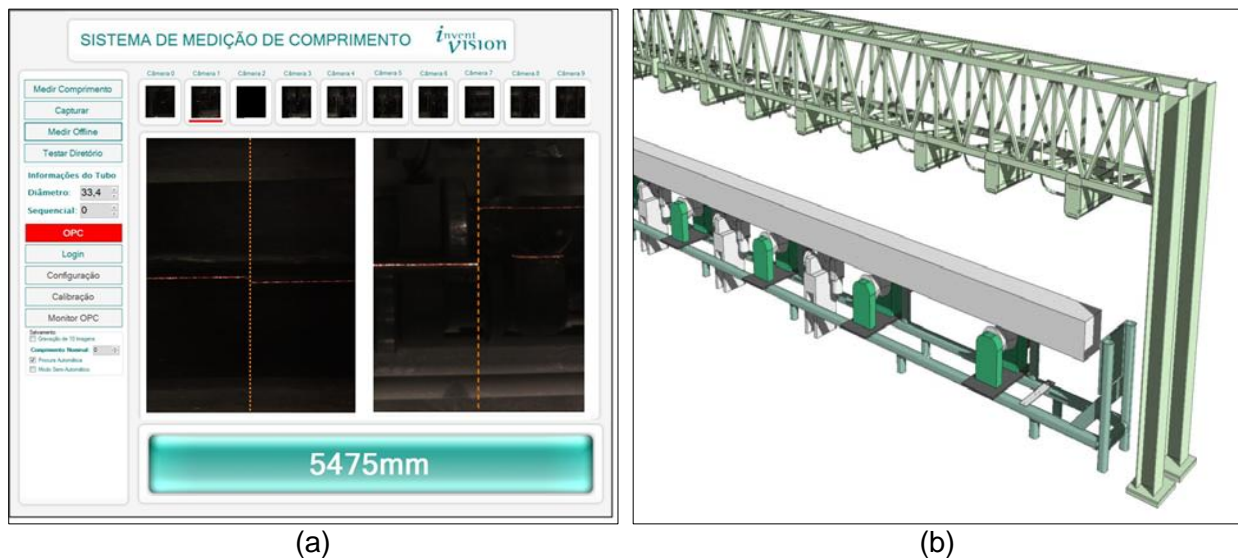


Figura 4. Exemplos de projeto para medição de peças com dimensões variadas. Na parte superior do pórtico estão afixadas câmeras que cobrem as dimensões possíveis para a peça a ser medida.

- Medição da Romboidade:** a romboidade de um tarugo é dado pela diferença entre as diagonais da face frontal de tarugo, conforme mostrada na Figura 5 pelas duas linhas que cruzam o retângulo mostrado. Quanto mais próximo de zero for esse valor, menor é a romboidade. A importância de se verificar se a romboidade está além do valor ideal se deve por três motivos: 1) o equipamento que produz o tarugo pode estar com algum defeito, 2) o tarugo não será aproveitado para processos posteriores da produção uma vez que a peça não se encontra de acordo com a especificação e 3) o tarugo pode estar apresentar trincas internas.

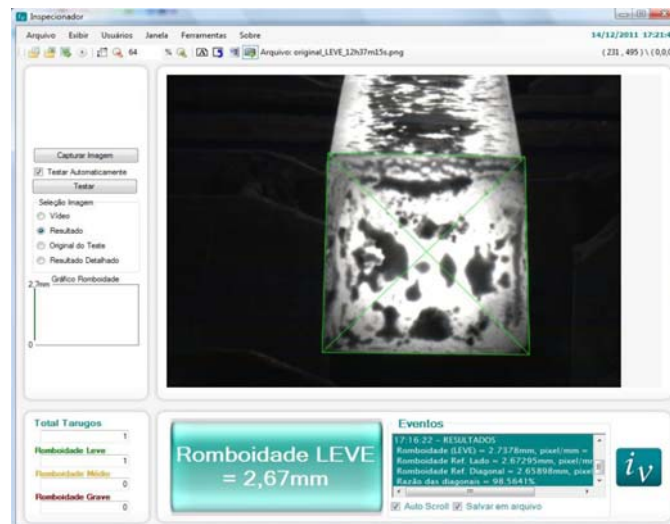


Figura 5. Sistema para cálculo de romboidade em tarugos.

2.3.3 Sistema para identificação de defeitos em peças metálicas

- Identificação de defeitos externos:** um modo comum de se inspecionar defeitos externos em superfícies metálicas é por meio de *Testes Não Destrutivos* (TND) porque é uma técnica que pode evitar inesperadas falhas operacionais das partes mecânicas, localizando defeitos críticos e permitindo correção antes da mesma ocorrer. A *Inspeção de Partícula Magnética* (IPM), por exemplo, é amplamente utilizada para detectar a presença de quebra de superfície, e em alguns casos, defeitos em superfícies. Se existe um defeito no componente, as partículas são atraídas por polos magnéticos. Normalmente, as partículas são suspensas em um fluido que proporciona mobilidade suficiente para as partículas migrarem para as bordas de uma região de defeito. Assim, as partículas serão alinhadas ao longo da região de defeito e será criado o contraste entre a superfície do componente e os defeitos. Os sistemas de visão surgem nesse contexto de forma a inspecionar esses defeitos após o processo de magnetização, uma vez que a inspeção visual, por parte do operador, por ser subjetiva, pode levar a erros. Nas Figuras 6(a), 6(c), 6(e) são mostrados exemplos de defeitos externos (identificados por meio de técnicas de segmentação e contraste mostradas nas Figuras 6(b), 6(d), 6(f)).
- Identificação de defeitos internos:** da mesma forma que existe a necessidade de inspeção das superfícies externas, também é importante verificar a presença de trincas, rachaduras ou defeitos na parte interna de algumas peças, por exemplo, dutos. A Figura 6(g) mostra o interior de um duto no qual existe a presença de um defeito.

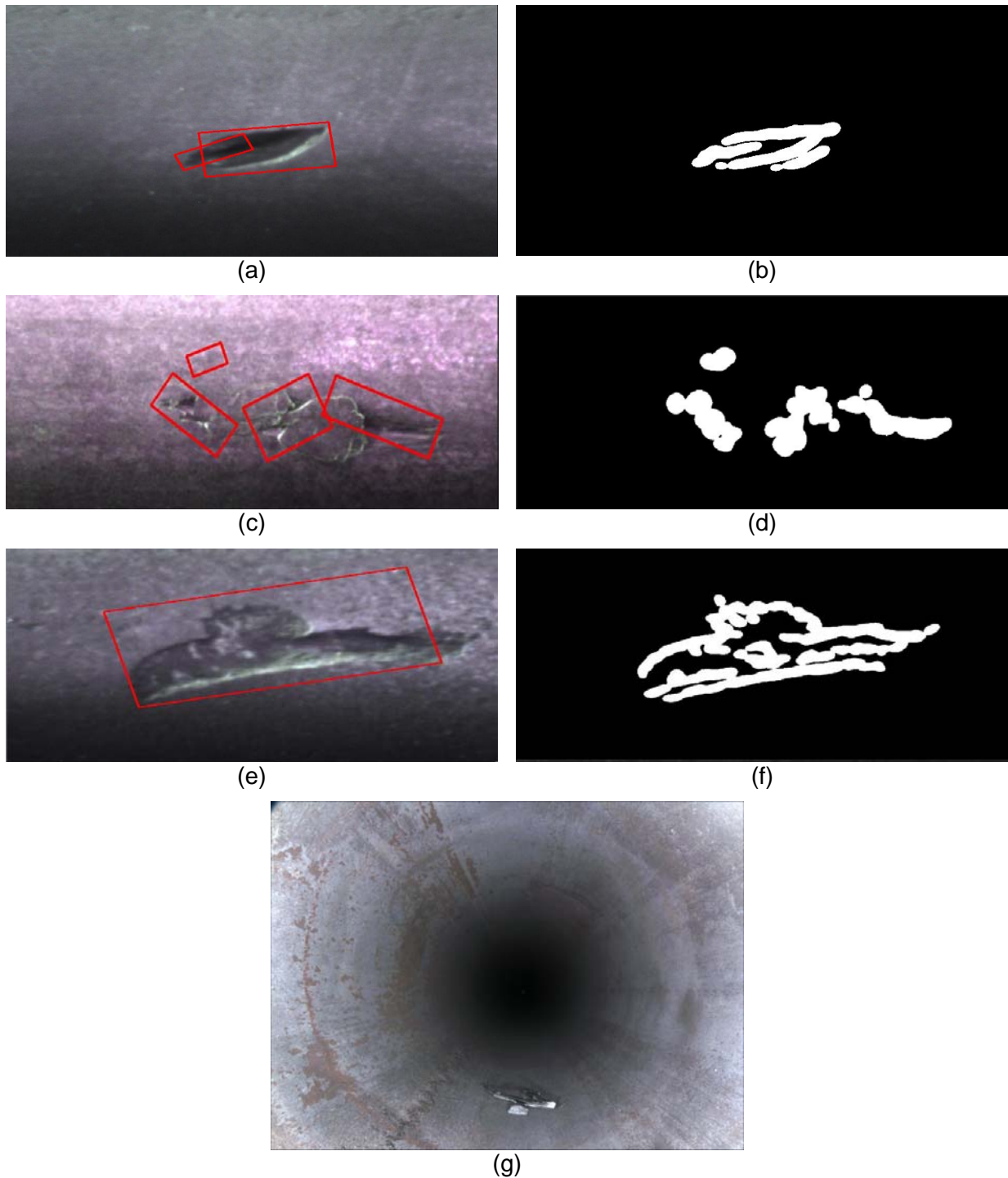


Figura 6. (a)-(f) Exemplo de defeitos encontrados em peças metálicas que comprometem a qualidade final do produto. O processamento feito sobre essas imagens é mostrado na coluna direita que segmenta unicamente o defeito. (g) Imagem que mostra o interior de um duto no qual tem-se um defeito na parte inferior do mesmo.

- **Identificação de trincas e fissuras em pelotas:** pelotas são pedras de minério concentrado que servem como matéria prima para as indústrias siderúrgicas e metalúrgicas. A qualidade do processo de produção dessas pelotas pode ser inferido por meio da qualidade das pelotas produzidas. A presença constante de trincas nessas pelotas indica que o processo está com algum problema. A Figura 7 mostra uma pelota com uma trinca. O

processamento sobre a imagem coletada revela uma região de claro destaque conforme pode ser observado pela imagem (b) onde a o vale apresenta uma coloração diferenciada. A imagem (c) mostra a região com a trinca destacada.

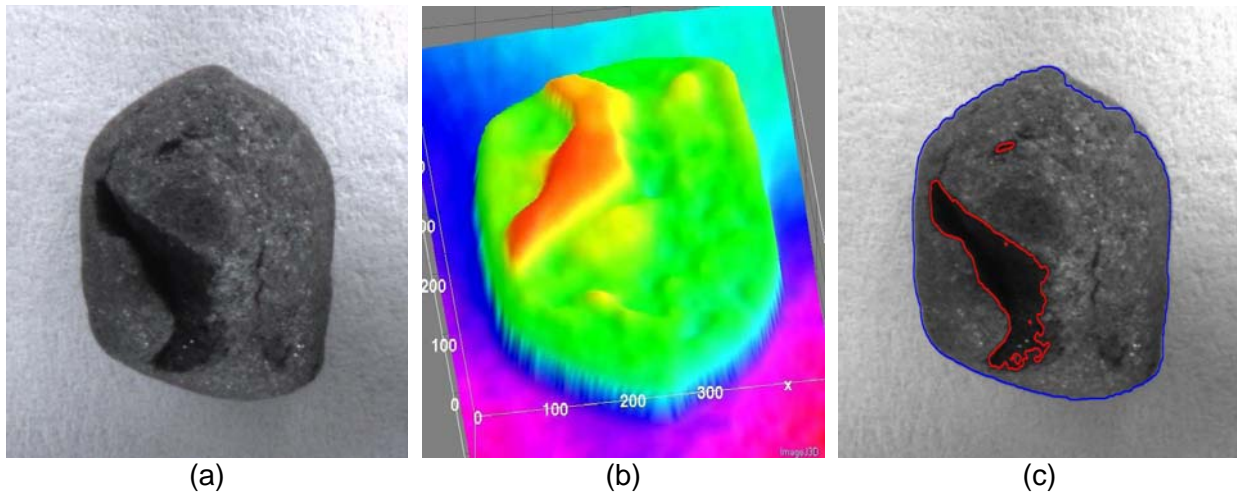


Figura 7. (a) imagem original da pelota com uma trinca. (b) Imagem 3D mostrando a região com trinca em alto relevo, identificada por meio do algoritmo de processamento de imagem. (c) Imagem com a trinca segmentada.

3 CONCLUSÕES

As indústrias siderúrgica e metalúrgica possuem muitos processos nos quais a utilização de visão computacional poderia ocasionar melhorias. Conforme apresentado nas seções anteriores dentre esses processos, pode-se citar: análise dimensional, detecção de defeitos em peças e rastreamento de peças.

A inspeção automática é mais eficaz na medida que permite que a produção continue de maneira automática ou semiautomática independentemente de supervisão humana. Assim, problemas causados por fadiga ou trabalho excessivo são também reduzidos. Por exemplo, o processo de medição automatizado de peças alcança resultados mais confiáveis se comparado com o processo baseado em medições manuais feitos por meio de trenas manuais, que dependem da subjetividade de quem mede.

A utilização desse tipo de sistema também é valiosa em ambientes inóspitos ou insalubres. Dessa forma, locais onde a temperatura possa alcançar valores elevados (por exemplo, isso é comum em aciarias) nos quais a presença de pessoas é inviável ou inadequada por longos períodos de tempo.

O processo de implantação desses sistemas costuma ser um processo delicado, devido às dificuldades tanto em relação à possíveis interrupções da produção como pela periculosidade envolvida em muitas dessas atividades.

Posto isso, pode-se dizer que o aumento da produtividade, qualidade do produto e redução dos custos operacionais estão são fatores que colocam a visão computacional como uma alternativa interessante para os mercados siderúrgicos e metalúrgicos.

REFERÊNCIAS

- 1 MOREIRA, L.F.E.; OLIVEIRA, C.A.A.; SOARES, M.B; SILVA, E. Sistema de tratamento e processamento de imagens: sistemas de visão no processo produtivo. Revista InTech América do Sul, n. 120, p. 32-39. ISSN: 1518-6024.
- 2 Reis, L. M. S. M.; MOREIRA, L.F.E.; SOARES, M.B; Reconhecimento automático do número da panela por visão computacional para *tracking* de painéis em aciarias. In: 15º Seminário de Automação de Processos, 2011, São Paulo/SP, Brasil.
- 3 Machado, H. N., Silva, E. D., Tamietti, M. V. G., Moreira, L. F. E., Oliveira, M., Quintão, I. Reconhecimento de texto impresso em chapas através de OCR. In: 15º Seminário de Automação de Processos, 2011, São Paulo/SP, Brasil.