A REVISTA DA
INDÚSTRIA
CERÂMICA
PORTUGUESA

Ano XXIX | Revista n.º 264 | Janeiro/Fevereiro 2004

KERAMICA

ORGANIZAÇÃO E GESTÃO DA PREVENÇÃO DE RISCOS LABORAIS NAS EMPRESAS

ficha técnica

KÉRAMICA

Publicação Bimestral

Ano XXIX – N.º 264 – Janeiro/Fevereiro de 2004
Depósito Legal n.º 21079/88
Registo n.º 122304 do ICS
ISSN 0871 – 780X

Propriedade e Edição
APICER – Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica

Direcção, Administração, Redacção e Publicidade
Rua Coronel Veiga Simão, Edifício C
3020-053 Coimbra
Telefone 239 497 600 (Phone + 351 239 497 600)
Fax 239 497 601 (Fax + 351 239 497 601)
E-mail: info@apicer.pt
Internet: www.apicer.pt

Director
António Galvão Lucas

Director Adjunto
Virgílio Pimenta
E-mail: vpimenta@apicer.pt

Conselho Editorial
António Oliveira, José Luís Sequeira e Tavares Gomes

Capa
Miguel Linhares

Colaboradores
Alfonso Martinez Lara, Ana Vargas, António Marques Fernandes, Dora Gonçalo, Fernando J. T. Estevão Ferreira, Friedherz H. Becker, Joaquim F. S Carvalho, José Santos Almeida, Luís Barrinha, M. Bussière, Martim Chichorro, Nuno Octávio Fernandes, Paula Mendes, Paulo Jorge Sequeira Gonçalves, Tavares Gomes e Virgílio Pimenta

Distribuição
Gratuita aos associados
Assinatura anual (6 números):
Portugal – € 31,50 (IVA incluído)
União Europeia – € 60,00
Resto da Europa – € 75,00
Fora da Europa – € 85,00

Composição e Fotolito
PMP – Serviços e Equipamentos Gráficos, Lda.
Avenida Dias da Silva, 109 – 3000-137 Coimbra
Telefones 239 704 638/239 705 114 – Fax 239 704 639
E-mail. pmp.mail@clix.pt

Montagem e Impressão
Imprensa de Coimbra, Lda.
Largo de S. Salvador, 1 – 3000-372 Coimbra
Telefone 239 824 787 – Fax 239 841 405

Notas
Proibida a reprodução total ou parcial de textos sem citar a fonte.
Os artigos assinados apenas veiculam as posições dos seus autores.

APOIOS

Fundos Estruturais

prime
Programa de Incentivos à Modernização da Economia

sumário

EDITORIAL 4

DESTAQUE
Organização e Gestão da Prevenção de Riscos Laborais nas Empresas 10

ESTUDOS
Aspectos Comerciais e Técnicos da Tecnologia de Cozedura na Indústria Cerâmica 23

MANUTENÇÃO
Metodologia para a Expecificação dos Enrolamentos Estatóricos na Rebobinagem dos Motores de Indução Trifásicos de Baixa Tensão 38

AMBIENTE
A Grande Disputa (I) 54

GESTÃO
O Balanced Scorecard 70

CONCEITOS
O Balanço 74

ENERGIA
Medidas de Segurança e Controlo Relativas à Utilização do Coque do Petróleo na Indústria 76

SEGURIDADE
Atmosferas Explosivas: Risco de Explosão 78
Certificação de Sistemas de Gestão de Higiene e Segurança no Trabalho 83
Certificação de Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho 85

TECNOLOGIA
Inspecção Visual Automática em Produtos Cerâmicos 91
A Reciclagem dos Resíduos de Fabricação na Indústria de Pavimentos e Revestimentos Cerâmicos 98

OPINIÃO
A Garantia 100

ACONTECIMENTO
Prémio Bienal de Arquitectura em Tijolo de Face-à-Vista da Cerâmica Vale da Gândara 102

REPORTAGEM
Licenciamento Ambiental e Comércio de Emissões Gasosas 104

ASSOCIATIVISMO ..... 107 a 111

NOTÍCIAS & INFORMAÇÕES ..... 112 a 126

CALENDÁRIO DE EVENTOS ..... 127 e 128

INSPECÇÃO VISUAL AUTOMÁTICA EM PRODUTOS CERÂMICOS

por **Paulo Jorge Sequeira Gonçalves, Nuno Octávio Fernandes** *e* **António Marques Fernandes,**
do Departamento de Engenharia Industrial, da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

RESUMO

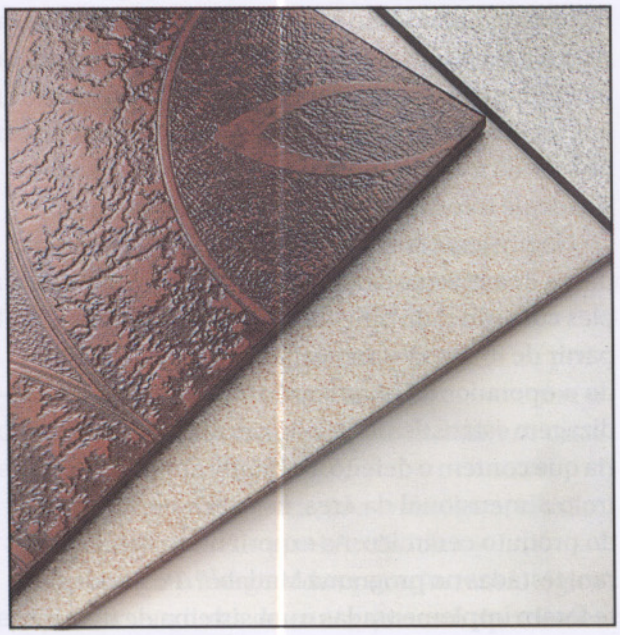
A aplicação de um sistema de visão por computador é apresentada no presente artigo, com o objectivo de automatizar o posto de trabalho de inspecção de produtos cerâmicos, no subsector de pavimentos e revestimentos. O sistema de inspecção apresentado é composto por um sistema de iluminação para garantir luminosidade constante no produto cerâmico a inspeccionar e por um sistema de captura e processamento de imagens a cores. Os algoritmos desenvolvidos para a detecção de defeitos incluem algoritmos de binarização, baseados em análise estatística e morfologia matemática. São apresentados resultados bastante satisfatórios na identificação do defeito grânulo. O sistema realiza ainda o controlo dimensional do mosaico/azulejo, através dos descritores área, largura e comprimento, com uma precisão de décimas de milímetro. O sistema inspecciona de forma automática os defeitos descritos em produtos cerâmicos de padrão uniforme e de uma só cor, tendo sido obtidos resultados bastante satisfatórios para o número de produtos cerâmicos disponibilizados pelas empresas do subsector de pavimentos e revestimentos.

Palavras-chave: controlo de qualidade, indústria cerâmica, visão por computador, e defeitos em produtos cerâmicos.

1. – INTRODUÇÃO

A utilização de sensores avançados e inteligentes são parte fundamental nos sistemas de produção modernos. Os sistemas de produção flexível permitem a produção de uma elevada gama de produtos, num só sistema. Permitem ainda uma rápida introdução de novos produtos no processo produtivo, mudar rapidamente os produtos em produção e ainda modificar o número de sequências de produção. Os sistemas de visão por computador podem ajudar as empresas a atingir os requisitos de flexibilidade expostos. Estes sistemas permitem identificar e localizar no plano e no espaço, materiais e componentes. Permitem ainda realizar tarefas de inspecção e medição durante todo o processo produtivo. Hoje em dia a aplicação de sistemas de visão por computador na indústria está em crescendo, sendo que é já difícil imaginar a automação industrial sem a utilização deste tipos de sistemas, ajudando em tarefas actualmente realizadas por humanos. Os sistemas de visão por computador foram introduzidos na indústria nos anos 50, em tarefas de inspecção e medição, sendo que actualmente são aplicados a tarefas mais complexas, tais como a identificação de objectos e o controlo de robots [8]. No presente trabalho é aplicada visão por computador na inspecção de produtos cerâmicos, de forma a dar um contributo para a automatização deste posto de trabalho.

Os defeitos nos produtos cerâmicos podem definir a fronteira da competitividade ou da não-competitividade na indústria cerâmica. Geralmente o preço do produto, apesar de outros factores como a moda ou os materiais utilizados, é definido em função de defeitos nele existentes, com um maior número de defeitos o seu preço diminui. Como o custo de fabrico é o mesmo, se uma empresa produzir produtos cerâmicos com defeitos será menos competi-



tiva. Os defeitos na indústria cerâmica surgem com alguma frequência no processo produtivo, sendo a inspecção e correcção automatizadas ainda um caminho a percorrer! O Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro disponibiliza uma base de dados com todo o tipo de defeitos na indústria cerâmica [3]. A referida base de dados pode ser usada para a correcção de defeitos durante todo o processo de fabrico. O presente trabalho centrou-se no procedimento de inspecção final de azulejos e mosaicos.

Actualmente a inspecção final de azulejos e mosaicos é efectuada por operadores, principalmente mulheres, usando uma máquina para posicionar e iluminar o objecto a inspeccionar. Tipicamente e nas empresas visitadas, os azulejos e/ou mosaicos deslocam-se num tapete-rolante, sendo estes marcados pelas operadoras consoante o número e grau de defeitos que contêm. Posteriormente são separados conforme as classes de defeitos, 1.ª classe, 2.ª classe e sucata. Este procedimento tem algumas desvantagens, devido ás monótonas e tediosas condições de trabalho.

Foram desenvolvidos, pela comunidade científica internacional, alguns trabalhos para automatizar o processo de inspecção final através de visão assistida por computador. No entanto, ainda é extremamente difícil obter uma máquina que satisfaça a indústria, porque os defeitos e os padrões dos azulejos e/ou mosaicos variam significativamente. Outro problema é o tempo de processamento requerido pelo processamento de imagem, reduzindo assim a velocidade de inspecção. Os progressos na capacidade e velocidade de processamento aumentaram as capacidades de sistemas computacionais, tendo estes alcançado um nível no qual se pode implementar visão por computador em tempo-real. Câmaras de elevada velocidade de aquisição permitem um crescimento contínuo no número de aplicações já disponíveis na indústria, mas continua ainda a existir um problema na enorme quantidade de informação existente numa imagem.

No presente trabalho foram estudadas técnicas para a detecção de defeitos, usando algoritmos simples com um reduzido tempo de processamento. A partir de imagens em níveis de cinzento foi aplicado o operador de binarização, definido por aprendizagem estatística, obtendo-se uma imagem binária que contém o defeito. Foi ainda abordado o controlo dimensional da área, largura e comprimento do produto cerâmico. As experiências descritas foram testadas no programa Matlab™. Posteriormente foram implementadas num sistema de detecção de defeitos em produtos cerâmicos, desenvolvido usando o Microsoft™ Visual C++ 6.0, baseado em programação por objectos, e que permite o processamento de imagens a cores, níveis de cinzento e binárias.

2. – INSPECÇÃO VISUAL AUTOMÁTICA DE PRODUTOS CERÂMICOS

Várias soluções para a detecção de defeitos em produtos cerâmicos, utilizando visão por computador, têm sido apresentadas ao longo dos anos na comunidade científica internacional. Técnicas de reconhecimento de padrões, análise superficial e análise de cor, foram adoptadas para tentar resolver o problema de detecção de defeitos em produtos cerâmicos. Posteriormente são aplicados algoritmos de apoio à decisão, baseados em lógica "fuzzy", redes neuronais e algoritmos genéticos, para identificar o defeito encontrado na fase de processamento de imagem. Alguns sistemas comerciais utilizam as técnicas descritas anteriormente, mas ainda longe de uma solução definitiva e suficientemente fiável. Dos algoritmos referidos anteriormente, salientam-se a aplicação de lógica "fuzzy" para classificar os defeitos detectados [1] e a aplicação de várias técnicas de processamento de imagem para a obtenção de um sistema reconfigurável para vários defeitos [2].

Verifica-se pois que a investigação em algoritmos para análise de defeitos em produtos cerâmicos, aplicando técnicas de visão por computador, é ainda um tema em constante evolução na comunidade científica mundial. No sistema proposto nas secções seguintes foram aplicados algoritmos simples de processamento de imagem, baseados no sistema de iluminação desenvolvido.

3. – APARATO EXPERIMENTAL

O sistema de aquisição de imagem é composto por uma câmara, um adaptador e um computador. Como podemos constatar na figura 1, a câmara cap-

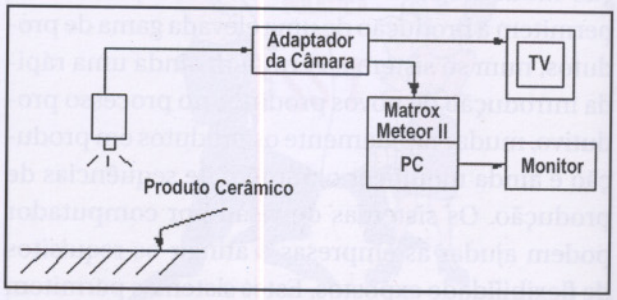


Figura 1 – *Sistema de aquisição de imagem*

ta a imagem, e através do adaptador transmite informação para o PC e a um monitor TV, aos quais se encontra ligado.

Durante a realização deste trabalho, foi necessária a construção de uma câmara escura, para que não haja interferências com a luz exterior. Esta é composta por um sistema de iluminação, o qual é constituído por uma lâmpada fluorescente (Philips F18W/54) e um balastro electrónico (cut-off). A lâmpada encontra-se a uma altura de 80 cm com um ângulo de incidência de 16°, ambos em relação ao produto cerâmico.

4. – DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE INSPECÇÃO

4.1 – Treino do Sistema

Neste trabalho um dos pontos de partida foi considerar um defeito como uma anomalia no produto cerâmico. Partindo deste princípio foi necessário identificar e quantificar os descritores adequados ao produto cerâmico sem defeitos, tarefa esta denominada treino do sistema. Após o treino do sistema para cada tipo de produto cerâmico, segue-se o processo de detecção de defeitos utilizando os algoritmos adequados.

4.1.1 – Descritores

O estudo efectuado realizou-se para mosaicos e azulejos de uma só cor e para os defeitos descritos na secção seguinte.

Consideraram-se os seguintes descritores: média e desvio padrão dos valores de nível de cinzento da imagem e ainda a área e o perímetro do produto cerâmico.

4.1.2 – Cálculo dos descritores do produto cerâmico

O procedimento inclui o cálculo prévio dos descritores, através de várias imagens de vários produtos cerâmicos sem defeito. A imagem do produto cerâmico é convertida em níveis de cinzento e posteriormente calculada a respectiva média, desvio padrão, área e perímetro.

4.1.3 – Utilização dos descritores na inspecção de produtos cerâmicos

Após o cálculo dos descritores para cada produto cerâmico, sem defeitos, encontra-se terminado o treino do sistema. Assim cada produto cerâmico fica completamente caracterizado, e conforme o tipo de defeito que se pretende identificar são utilizados os respectivos descritores.

Note-se que os descritores calculados também incluem a parte correspondente ao erro da resolução da câmara e ao erro introduzido pelo sistema de iluminação, incluídos no desvio padrão.

4.2 – Detecção de Defeitos

Com base no treino do sistema para um dado produto cerâmico, segue-se a aplicação de algoritmos de visão por computador para detecção de defeitos. Nesta secção apresenta-se a análise ao defeito grânulo.

Outros defeitos existentes em produtos cerâmicos encontram-se apresentados em [3].

O sistema de iluminação adoptado permite realçar os diversos defeitos estudados, através dos níveis de cinzento da imagem capturada.

O procedimento a utilizar é composto pelas seguintes etapas:

- 1 – identificação do produto cerâmico (treino do sistema);
- 2 – captura da imagem do produto cerâmico com defeito (sistema de aquisição de imagem e iluminação);
- 3 – aplicação de algoritmos de detecção de defeitos;
- 4 – indicação de defeitos do produto cerâmico.

4.2.1 – Grânulo

Após a captura de uma imagem do produto cerâmico, em que os níveis de cinzento do defeito são mais escuros que os restantes, esta será binarizada utilizando para tal um filtro roicolor, com os seguintes parâmetros α e β:

- $\alpha = 0$;
- β = **Média** + **K** × (**Desvio Padrão**).

O parâmetro **K** é determinado em função do tipo de defeito a detectar, tomando o valor +5 para o defeito grânulo.

A imagem, agora binarizada, necessita de pós-processamento de forma a indicar claramente o defeito. Este processamento é realizado em duas etapas:

- 1 – aplicação da operação morfológica, erosão;
- 2 – eliminação de pixels isolados.

A aplicação à imagem da operação morfológica erosão tem em linha de conta que este tipo de de-

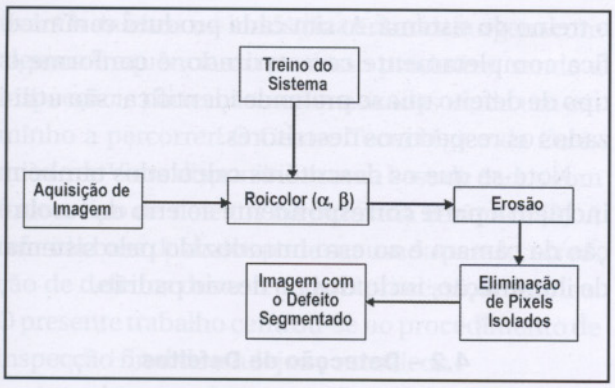


Figura 2 – *Algoritmo para detecção do defeito, grânulo*

feito tem forma quadrada ou rectangular. Posteriormente são eliminados todos os pixels isolados e assim é identificado o defeito **grânulo** (ver a figura 2).

Nas figuras 3 e 4 apresentam-se os resultados da aplicação dos procedimentos anteriores às imagens com o defeito **grânulo**.

4.3 – Controlo Dimensional

4.3.1 – Área

Para o caso de um mosaico/azulejo quadrado, o **controlo dimensional** da área é efectuado utilizando o operador binarização automática, método de Otsu [4].

Utilizando a largura de cada pixel, 0,19 mm, obtida através do processo de calibração, e contando o número de pixels brancos existentes na imagem final, temos a dimensão **área**.

Como exemplo, verificou-se que para o caso exposto na figura 5, o erro obtido foi de 2%:

- Área real: 148 mm².
- Área calculada: 147,7 mm².

Figura 4 – *Imagem com defeito segmentado, grânulo*

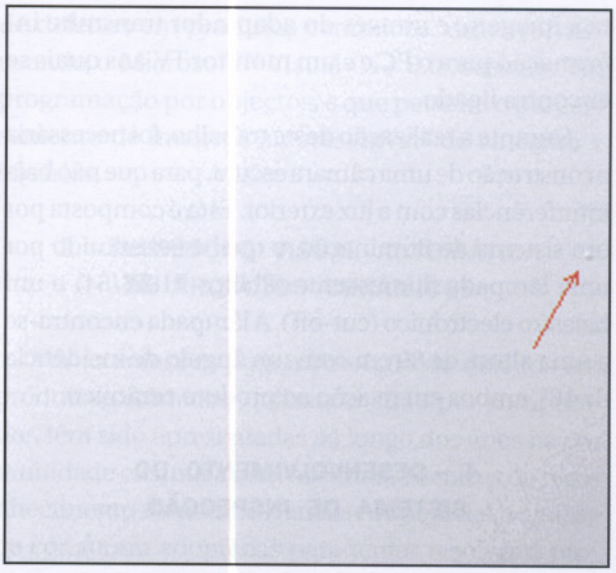


Figura 3 – *Imagem capturada, com defeito, grânulo*

4.3.2 – Largura

Para o caso de um mosaico/azulejo quadrado, o **controlo cimensional** da largura é efectuado utilizando um filtro para detecção de arestas verticais [4], isto é, é detectada a transição 0 → 1 na direcção horizontal.

Posteriormente é aplicada a operação de morfologia matemática erosão [4], para remover os pixels isolados. Utilizando a largura de cada pixel, 0,19 mm, obtida através do processo de calibração, e contando o número de pixels brancos existentes na imagem final, temos a dimensão **largura** (ver as figuras 6 e 7).

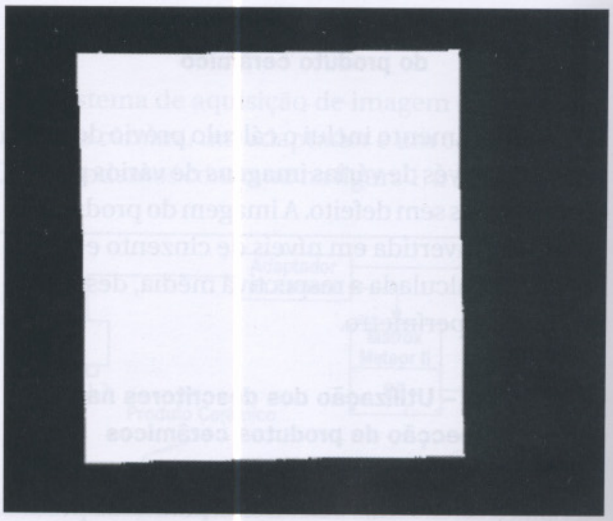


Figura 5 – *Controlo dimensional, área*

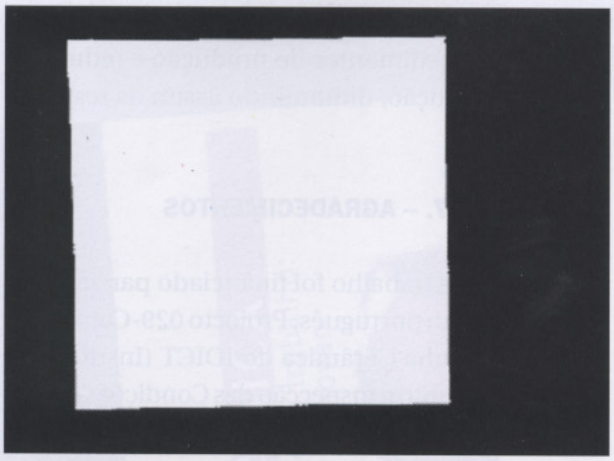


Figura 6 – *Controlo dimensional, largura I*

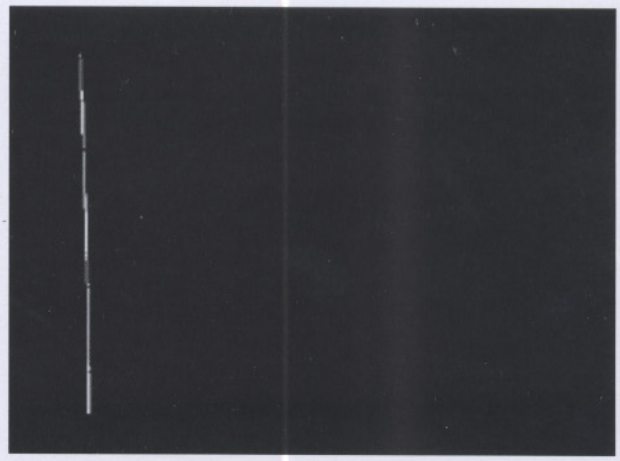


Figura 7 – *Controlo dimensional, largura II*

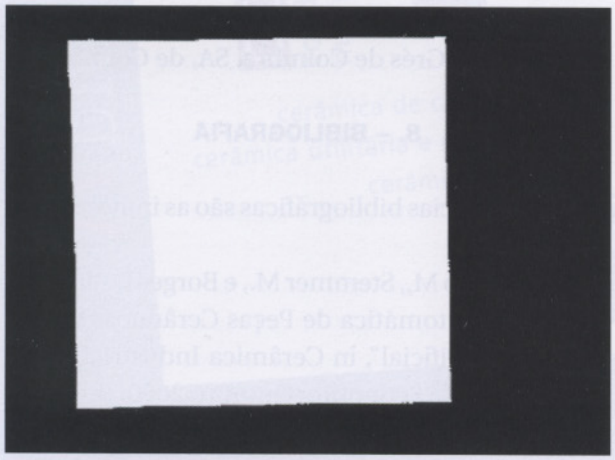


Figura 8 – *Controlo dimensional, comprimento I*

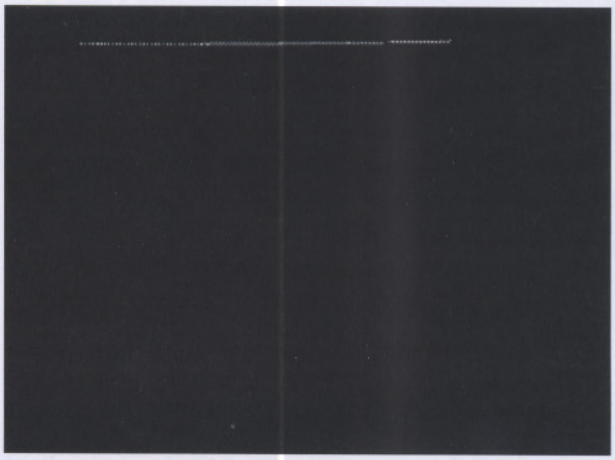


Figura 9 – *Controlo dimensional, comprimento II*

4.3.3 – Comprimento

Para o caso de um mosaico/azulejo quadrado, o **controlo dimensional** da largura é efectuado utilizando um filtro para detecção de arestas horizontais [4], isto é, é detectada a transição $0 \rightarrow 1$ na direcção vertical.

Posteriormente é aplicada a operação de morfologia matemática erosão [4], para remover os pixels isolados. Utilizando o comprimento de cada pixel, 0,19 mm, obtida através do processo de calibração, e contando o número de pixels brancos existentes na imagem final, temos a dimensão **comprimento** (ver as figuras 8 e 9).

5. – APLICAÇÃO INFORMÁTICA DESENVOLVIDA

A aplicação informática desenvolvida tem como suporte o Windows™ 98/2000, tendo sido desenvolvido no Microsoft Visual C++, 6.0 [5] que permite gerar aplicações a 32-bit para o sistema atrás referido. A partir de trabalho anterior [6], foi desenvolvido o programa "Inspecção Cerâmica" (ver a figura 10).

A aplicação permite a aquisição de imagens através da Câmara e Placa de Aquisição de Imagem Matrox Meteor II [7] ou editar imagens já capturadas. A partir das funcionalidades descritas foram implementados os algoritmos para detecção de defeitos definidos na secção 4.

O sistema global, aplicação informática e sistema de iluminação, tem as seguintes características, obtidas para o caso estático de detecção de defeitos:

• Processamento de imagens a cores, níveis de cinzento ou binárias;

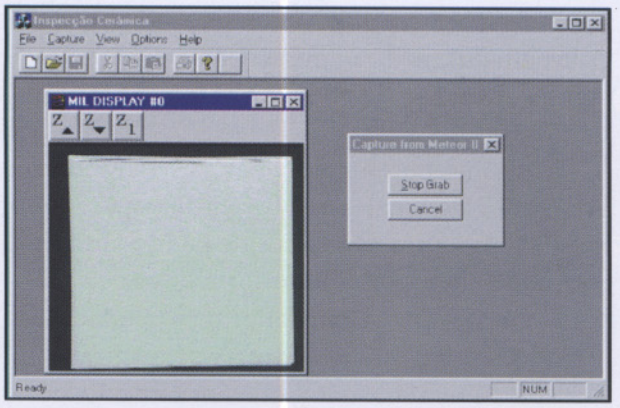


Figura 10 – *O programa "Inspecção Cerâmica"*

• Sistema modular;

• Facilidade de implementação de novos algoritmos de processamento de imagem;

• Resolução de 0,19 mm;

• Tamanho máximo da porção de produto cerâmico inspeccionado pela câmara: 148 × 112 mm;

• Capacidade de captura e de processamento da imagem: 20 imagens por segundo.

6. – CONCLUSÕES

A inspecção visual humana aplicada a processos de controlo de qualidade pode revelar-se bastante deficiente, devido principalmente a estes processos serem bastante monótonos, tediosos e de longa duração. Surgem assim, problemas na garantia de constância da qualidade nos produtos inspeccionados. Justifica-se assim a aplicação de sistemas de inspecção visual automática, que garantem constância na qualidade, rapidez e confiança na inspecção de produtos cerâmicos.

No presente trabalho foram implementadas técnicas de processamento de imagem para a detecção de defeitos em produtos cerâmicos, nomeadamente no posto de inspecção final. A partir de uma imagem em níveis de cinzento foi possível obter uma imagem binária contendo o defeito, após a aplicação de uma segmentação por "threshold", análise estatística e morfologia matemática. Foram apresentados resultados para o defeito grânulo, que demonstram o bom funcionamento do sistema. O controlo dimensional da área, largura e comprimento do azulejo/mosaico foi também abordado, através da binarização da imagem capturada e da informação proveniente do processo de calibração do sistema de aquisição de imagem.

O sistema para inspecção visual automática de defeitos apresentado neste trabalho de investigação, foi testado para o caso estático em imagens de mosaicos e azulejos fornecidas por empresas cerâmicas do subsector de pavimentos e revestimentos. Os resultados mostraram ser satisfatórios quando comparados com os obtidos por inspecção visual humana.

O trabalho apresentado mostra que é possível detectar e classificar defeitos, para a inspecção estática de produtos cerâmicos de padrão uniforme com uma só cor. Contudo, de forma a trazer ao processo produtivo um indicador da qualidade dos produtos cerâmicos, os sistemas de inspecção visual automática, têm que aumentar a velocidade de inspecção em relação à manual, de forma a aumentar também a produtividade. Permitirão ainda melhorar os procedimentos de produção e reduzir os erros de produção, diminuindo assim os respectivos custos.

7. – AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi financiado parcialmente pelo governo português, Projecto 029-Ceram/02, sob a Campanha Cerâmica do IDICT (Instituto de Desenvolvimento e Inspecção das Condições de Trabalho). Gostaríamos também de agradecer às seguintes empresas:

• **Dominó** – Indústrias Cerâmicas, SA, de Condeixa-a-Nova; e

• **Gresco** – Grés de Coimbra, SA, de Coimbra.

8. – BIBLIOGRAFIA

As referências bibliográficas são as indicadas seguidamente:

• [1] Bueno M., Stemmer M., e Borges P., "Inspecção Visual Automática de Peças Cerâmicas Via Inteligência Artificial", in Cerâmica Industrial, Volume 5 (n.º 5), de Setembro/Outubro 2000, Brasil.

• [2] Boukouvalas C., De Natale F., De Toni G., Kittler J., Marik R., Mirmehdi M., Petrou M., Le Roy P., Salgari R., e Vernazza G., "Automatic System for Surface Inspection and Sorting of Tiles", in Journal of Materials Processing Technology, Volume 82 (n.ºs 1-3), pág. 179-188, October 1998.

• [3] CTCV (Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro), "Base de Dados de Defeitos Ocorrentes em Produtos de Cerâmica e Vidro", http://www.ctcv.pt//bdefeitos/homepage.htm, 2000.

[4] Shapiro L., e Stockman G., "Computer Vision", Prentice-Hall, 2001.

• [5] Visual C++ 6.0, Users Manual.

• [6] Matrox Meteor II, Users Manual.

• [7] Gonçalves P., Furtado H., Gonçalves M., e Morato J., "Automatic Fabric Inspection by Machine-Vision, Applying Simple Algorithms", IS&T/SPIE 14.th Symposium – Photonics West – Electronic Imaging Science and Technology – Machine Vision Applications in Industrial Inspection X, Volume 4644, pág. 198-206, San Jose, USA, 21-22 January 2002.

• [8] Gonçalves P., e Caldas Pinto J. R., "Dynamic Visual Servoing of Robot Manipulators", Proceedings of the IEEE Conference on Emerging Technologies in Factory Automation, pp. 560-565, Lisboa, Portugal, 16 a 19 Setembro 2003. ❑