

Inspeção Visual Automática de Peças Cerâmicas via Inteligência Artificial

**Marcelo Lemes Bueno¹, Marcelo Ricardo Stemmer²
e Paulo Sérgio da Silva Borges³**

¹ Itagres Revestimentos Cerâmicos - Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica PPGEEL - UFSC - e-mail: eletrica@itagres.com.br

² Professor Adjunto do Departamento de Automação e Sistemas – UFSC

³ Professor Adjunto do Departamento de Informática e Estatística – UFSC

Resumo: A modernização tecnológica e a competitividade crescente exigem um comportamento diferenciado por parte das empresas, para assim ganharem mais espaço no mercado. Sabemos que é necessário fabricar produtos totalmente confiáveis e seguros. Para isso é de extrema importância que toda inspeção garanta completamente a qualidade dos produtos, no entanto, a tarefa de inspecionar a qualidade final de produtos acabados vem sendo, ainda, realizada manualmente por operadores, o que pode comprometer a qualidade da inspeção, devido a fatores, como mau humor dos operadores, relacionamento patrão-empregado, carga horária diária de trabalho, problemas cotidianos, entre outros. Por outro lado, não se pode pensar que um sistema de inspeção visual automática poderá contribuir com o aumento do desemprego, pois isto é uma questão de administração empresarial, uma vez que os funcionários podem operar o sistema de visão automático ou podem ser deslocados para outros setores da empresa.

Neste trabalho se propõe que a inspeção de peças cerâmicas seja realizada por um sistema visual automático, baseado em uma das técnicas de inteligência artificial, mais conhecida como lógica difusa. Dessa forma é retirado do ser humano a obrigação de tomar a decisão de aprovar ou rejeitar um produto inspecionado.

Palavras-Chaves: *Controle de Qualidade, Visão Computacional, Inteligência Artificial, Lógica Difusa*

Introdução

A implementação de sistemas que emulem a visão humana ou mesmo a superem em determinadas aplicações é uma realidade. A visão computacional tem sido aplicada em diversas situações, como na interpretação de fotos aéreas e visualização de imagens para diagnósticos médicos. Na indústria sua aplicação está voltada à orientação, ao posicionamento de objetos e à inspeção automática de circuitos impressos, entre outros.

A inspeção é uma etapa importante em muitos meios industriais. A inspeção visual automática pode ser definida como um conjunto de técnicas que vão desde a captação das informações, através de câmeras tipo CCD até a aplicação de algoritmos e ação de atuadores que tornam possíveis o controle de qualidade dos produtos nas indústrias.

A inspeção da qualidade em uma indústria baseia-se na observação de um mesmo tipo de produto em conformidade com um padrão. Considerando que na maioria das indústrias os produtos apresentam um elevado índice de uniformidade, exige-se uma grande concentração por parte do operador classificador. O monitoramento automático destaca-se, principalmente, pela substituição do homem pela máquina, visando compatibilizar as fases de produção e inspeção, frente às elevadas taxas de produção verificadas atualmente.

Sistema Atual

Atualmente, as indústrias de revestimentos cerâmicos possuem sistemas para inspeção de qualidade que muitas vezes deixam a desejar, por serem realizadas por colaboradores que apesar de serem treinados nas fábricas, o fazem manualmente, com níveis de iluminação inadequados e em

ambientes, muitas vezes, desfavoráveis, como elevadas taxas de ruído, temperatura imprópria (principalmente no verão) e esforço físico excessivo. Com a necessidade de se elevar os índices de qualidade e produção, máquinas mais velozes e precisas têm sido adquiridas por essas indústrias, o que também torna a tarefa de inspeção outro fator desfavorável para ser realizado manualmente.

A figura 1 ilustra a tarefa de inspecionar manualmente o produto final em uma indústria cerâmica.

Sistema Proposto

O que se propõe consiste em um conjunto de sistemas para aquisição e análise das imagens para posterior inspeção (clustering) utilizando Inteligência Artificial.

Esta proposta está fundamentada na necessidade de desenvolvimento de novos métodos e sistemas para inspeção final da qualidade de revestimentos cerâmicos. A figura 2 ilustra a estrutura simplificada do sistema de inspeção visual automático.

Esse sistema é subdividido em três etapas principais: *Aquisição, Análise e Atuação*.



Figura 1. Inspeção final de peças cerâmicas Fonte: Itagres Revestimentos Cerâmicos.

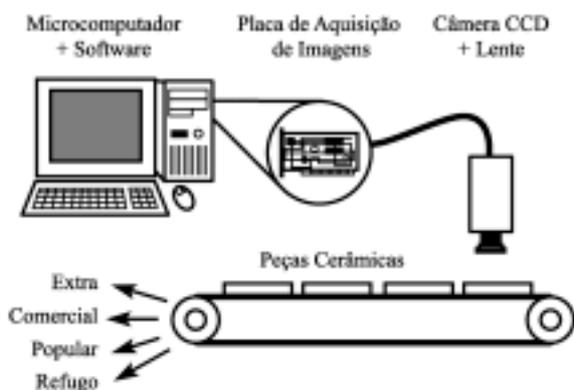


Figura 2. Estrutura simplificada do sistema de inspeção automático.

A aquisição é feita pela câmera CCD que está acoplada à placa de aquisição de imagens que, por sua vez, está ligada ao sistema computadorizado (microcomputador), o qual possui capacidade para adquirir e armazenar as imagens a serem analisadas. Essas imagens são gravadas em memórias RAM ou discos flexíveis.

A análise é a fase do processo de inspeção, onde se encontra o processamento da informação vinda da etapa de aquisição. O processador pode ser de arquitetura dedicada e os algoritmos devem ter baixa complexidade computacional para tornar possível a implementação da inspeção automática em tempo real. A análise, na inspeção automática, subdivide-se em três outras etapas: *segmentação da imagem, análise dos defeitos de borda e análise dos defeitos superficiais*.

A segmentação usa o histograma da imagem para separar o objeto do fundo e, assim, fazer a localização dos quatro cantos da peça cerâmica.

Na análise dos defeitos de borda, verifica-se a existência ou não de cantos quebrados e/ou bordas lascadas. Caso a peça não apresente defeitos nas bordas, aplica-se o algoritmo responsável pela análise dos defeitos superficiais.

Depois de aplicado os algoritmos de análise, a peça cerâmica é separada pelo atuador em uma das quatro classes: extra, comercial, popular ou refugo.

O sistema de visão computacional é composto pelos seguintes componentes:

1. câmera CCD;
2. lente óptica;
3. iluminação;
4. interface para aquisição de imagens (Frame Grabber);
5. software aplicativo para visão computacional;
6. microcomputador;
7. software para inspeção automática.

Câmera CCD

Todas as câmeras para aplicação em visão computacional são do tipo CCD, cujo funcionamento podem ser tanto de câmeras de área como câmeras de varredura de linha (Line Scan Camera). O uso de um ou de outro tipo vai depender da aplicação e da precisão requerida, pois as câmeras de área focalizam apenas uma área, normalmente retangular, tendo uma resolução fixa, enquanto que as câmeras de linha são tipicamente usadas para aplicações que exigem alta velocidade e resolução. Os objetos em estudo se movem numa única direção. Mantendo a câmera de linha fixa, a varredura é feita continuamente numa única linha, colhendo, assim, as informações.

Há também câmeras infra vermelhas que são indicadas para os casos de aplicações especiais, onde é preciso fazer o mapeamento do calor e onde varia aleatoriamente a luz do ambiente, uma vez que a análise do objeto não pode ser afetada por esta mudança de luminosidade. As câmeras

infravermelhas são, em geral, bem mais caras do que as normais.

Lente óptica

A qualidade da imagem capturada pela câmera depende muito da lente. Escolhas básicas para lentes são o alcance focal, profundidade focal, teleobjetiva (zoom), grande, angular ou convencional. As lentes para aplicações científicas e industriais devem ser de boa qualidade, sem apresentar aberrações ou distorções.

Iluminação

A iluminação é um fator crítico no sucesso de qualquer sistema de visão. Tipos de iluminação disponíveis são: luz direcional, luz difusa, iluminação traseira e iluminação estroboscópica.

Aquisição de imagens

As interfaces para aquisições de imagens, conhecidas como Frame Grabber, são utilizadas para transferir as informações de câmeras ou qualquer fonte de sinal de vídeo em imagens que poderão ser tratadas como dados, em um computador. Os frames grabbers mais modernos são para barramentos PCI, que permitem uma alta taxa de transferência para a memória RAM e para a memória da controladora de vídeo do computador, requisito para as aplicações mais modernas de processamento e análise de imagens.

Atualmente, existem frames grabbers para câmeras analógicas e digitais, coloridas e monocromáticas, além de câmeras de linha chamadas line-scan.

Software aplicativo de imagem

O que diferencia um sistema de visão computacional do outro é basicamente o software aplicativo. Normalmente o projetista escolhe um dos seguintes caminhos para desenvolver o seu sistema.

- usar bibliotecas fornecidas pelo fabricante da placa de captura de imagem e desenvolver o aplicativo, usando C++, Visual C, Visual Basic ou Java.
- desenvolver o software em ambientes de programação gráfica, usando ícones para representar funções de control/display e outras funções utilitárias.
- usar software de pacote configurável através de menu ou gerando um script para aplicação desejada.

Microcomputador

No processo de inspeção visual automática, o microcomputador serve para armazenar e processar, via softwares aplicativos, as imagens adquiridas. Processadas as imagens, o microcomputador informará o resultado obtido, indicando a situação do revestimento analisado, podendo encontrar-se em uma das quatro classes possíveis: extra, comercial, popular ou refugo.

Software para inspeção automática

Os softwares para aplicações em Inteligência Artificial tanto podem ser desenvolvidos pelo projetista, através de ferramentas como Matlab, C++ ou outra ferramenta apropriada, o que torna o desenvolvimento do software bastante particular, como também podem ser encontrados prontos. Na internet, por exemplo, basta acessar as páginas correspondentes e “baixar” os programas.

O algoritmo proposto a ser empregado no desenvolvimento do software para inspeção automática é baseado na teoria de Lógica Difusa, também conhecido como Fuzzy Logic ou Lógica Nebulosa.

Lógica Difusa

A lógica difusa nasceu da necessidade de se tomar decisões baseadas em informações vagas, ambíguas e qualitativamente incompletas ou imprecisas. Trata-se de um super conjunto da lógica convencional que foi estendido para manipular o conceito de verdade parcial.

Na lógica Booleana ou convencional, tem-se a pertinência de um elemento e um conjunto relacionados através da função característica que pode assumir os valores 0 ou 1, ou seja, pertence ou não pertence em resposta à pergunta: “o elemento x pertence ao conjunto X ?”. Já os conjuntos difusos têm elemento e conjunto associados a uma função de pertinência que pode assumir qualquer valor entre 0 e 1, com relação à pergunta anterior. A figura 3 ilustra esta relação de elemento – conjunto para as duas lógicas. A função característica na figura é chamada de $f(x)$ e a função de pertinência, de $\mu(x)$.

A idéia da função de pertinência é estabelecer uma premissa que varia em grau de certeza. Esta característica se aproxima mais do raciocínio humano por este ser heurístico e impreciso.

Outra ferramenta importante da lógica difusa é a variável lingüística. As variáveis lingüísticas são grupos rotulados qualitativamente. A associação de termos lingüísticos (por exemplo, baixo, quente, seco, gordo, etc.) às funções de pertinência tornam o processo de tomada de decisão simples e eficaz.

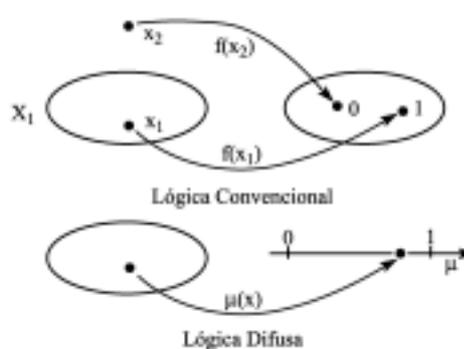


Figura 3. Lógica convencional e lógica difusa.

A função de pertinência tem sido uma ferramenta poderosa para representar a ambigüidade de adjetivos da linguagem natural. Por exemplo, quando se fala em “temperatura alta”, fica difícil de associar um número exato. O mesmo acontece com a expressão “pessoa velha”. É indefinido os limites da característica idade. Assim, usa-se uma curva distribuída com graus de pertinência, que representa melhor a característica ambígua em questão para tratá-la matematicamente. A curva que quantifica o significado de um termo lingüístico é denominada função de pertinência.

Pode-se considerar que o intervalo conveniente para representar “temperatura alta”, em graus celsius, seja 25 a 50 e a melhor curva seja uma reta. Escolhido o domínio e o tipo de curva têm-se todos os valores, neste intervalo, com seu grau de pertinência associado. Esse grau de pertinência traz em si o quanto determinada temperatura faz parte do conjunto “temperatura alta”. Da mesma forma pode-se representar a ambigüidade da expressão “pessoa velha”. Na figura 4 é apresentado duas possíveis funções de pertinência para representar “temperatura alta” e “pessoa velha”.

Dentre as curvas mais usadas para representar funções de pertinência estão as triangulares e trapezoidais. Já dentro da classe de curvas não – lineares têm-se as curvas “S” e também as curvas sino. Entre as curvas sino mais utilizadas estão: Beta, π e Gauss. A diferença entre elas está na inclinação da curva e nos valores dos pontos extremos. A figura 5 apresenta as curvas triangular, trapezoidal, “S” e sino.

Na figura 6 têm-se a variável lingüística temperatura podendo assumir três valores lingüísticos: *Frio*, *Normal* e *Quente*. Variável e valor lingüísticos são, simplesmente, expressões ou palavras da linguagem natural.

São os valores lingüísticos que armazenam o grau de pertinência de um determinado elemento.

Ainda na figura 6, a temperatura de 28 °C recebe dois valores lingüísticos: normal (com grau de pertinência 0.8) e quente (com grau de pertinência 0.2). O processo difuso, com certeza, usará o fato de a temperatura de 28 °C ser normal e quente, mas o valor lingüístico normal sobressairá em relação ao valor lingüístico quente, devido o valor do seu maior grau de pertinência.

Processo Difuso na Inspeção Automática de Revestimentos Cerâmicos

O algoritmo de inspeção é subdividido em duas etapas: *pré - processamento e inspeção difusa*.

A etapa de pré – processamento é realizada off – line e tem como objetivo a determinação das figuras de mérito que caracterizam as variáveis lingüísticas e os tipos de funções de pertinência, usadas na representação das mesmas. A fase de inspeção difusa, executada on – line, tem uma estrutura, conforme mostrado na figura 7.

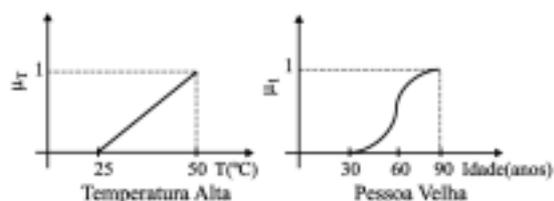


Figura 4. Exemplos de funções de pertinência.

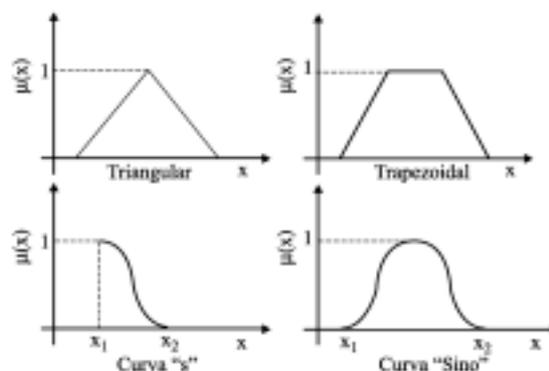


Figura 5. Curvas triangular, trapezoidal, “S” e sino.

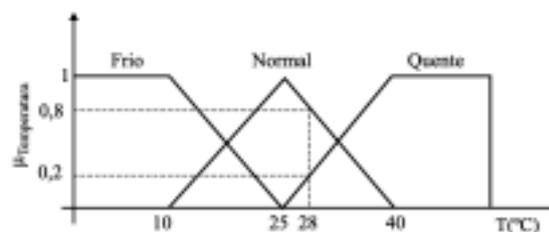


Figura 6. Variável lingüística TEMPERATURA e seus valores lingüísticos.

A primeira etapa do algoritmo de análise dos defeitos superficiais é o pré – processamento. Nessa fase, definem-se todos os elementos com os quais o algoritmo opera: *funções de pertinência, variáveis lingüísticas e parâmetros de treinamento, dentre outros*. A característica fundamental dessa etapa é que todos os parâmetros são adquiridos off – line.

A primeira preocupação que se tem é utilizar um parâmetro de representação de imagem que não leve a um esforço computacional muito elevado e que caracterize bem os defeitos superficiais nas peças cerâmicas.

A segunda etapa é a fase da inspeção difusa, composta pelas fases de *fuzificação, avaliação de regras e defuzificação*, onde fuzificar significa, para nosso propósito, associar um defeito a um grau de pertinência que pode assumir qualquer valor entre 0 e 1. Essa fase é executada on – line, o que leva à escolha de estruturas com baixa complexidade computacional.

A figura 8 apresenta as curvas de fuzificação (funções de pertinência) correspondentes à variável lingüística de entrada *defeito superficial*.

Na fase de avaliação de regras, busca-se através de regras, a ponderação dos valores lingüísticos de saída por meio dos valores lingüísticos de entrada vindos da etapa de fuzificação.

Avaliação das Regras

Regra 1:

Se diâmetro do defeito for igual a zero, ou seja, não possuir defeito superficial (0.0), **então** a classe de saída é *extra* (0.0);

Regra 2:

Se diâmetro do defeito for igual a tamanho muito pequeno (0.0) **ou** pequeno (0.0), **então** a classe de saída é igual a *comercial* (0.0);

Regra 3:

Se diâmetro do defeito for igual a tamanho médio (0.8) **ou** grande (0.4), **então** a classe de saída é igual a *popular* (0.8);



Figura 7. Fluxo de dados de um sistema difuso.

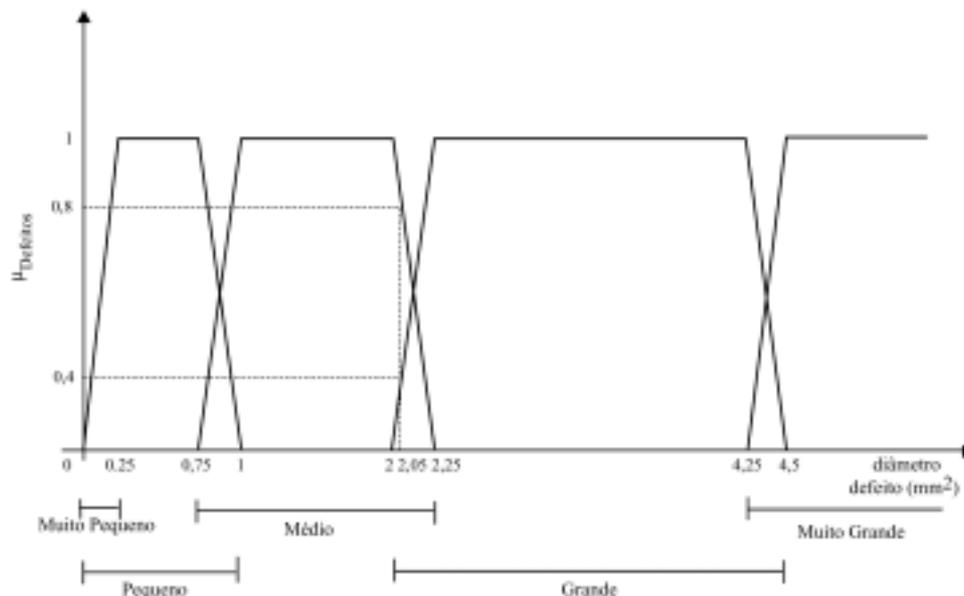


Figura 8. Curvas de fuzificação correspondentes à variável lingüística de entrada *defeito superficial*.

Regra 4:

Se diâmetro do defeito for igual a tamanho muito grande (0.0), **então** a classe de saída é igual a *refugo* (0.0).

Na fase de defuzificação são montadas curvas de pertinência e as saídas são dispostas no domínio dessas curvas.

Os graus de pertinência de cada valor lingüístico são levados às curvas de saída e a classe à qual a cerâmica pertence é indicada pelo centro de gravidade da curva resultante, como mostrado na figura 9.

Cálculo do centro de gravidade:

$$S = \frac{0.8 \times 20 + 0.8 \times 30 + 0.8 \times 40 + 0.8 \times 50 + 0.8 \times 60 + 0.8 \times 70}{0.8 + 0.8 + 0.8 + 0.8 + 0.8 + 0.8}$$

$$S = 45\%$$

Portanto, para o exemplo apresentado, a cerâmica encontra-se na classe *popular*.

O processo descrito pode apresentar uma grande complexidade de projeto, devido, principalmente, a dois pontos fundamentais.

- escolha do formato das curvas de defuzificação.
- posicionamento das classes de saída no domínio das curvas de pertinência.

O ajuste destes pontos é experimental, podendo resultar em um formato de curva qualquer, não simétrico, com qualquer posição para as quatro classes: extra, comercial, popular e refugo.

Na presença destes problemas, há necessidade de buscar uma outra solução, adaptando as fases de avaliação de regras e defuzificação à aplicação específica para classificar cerâmicas.

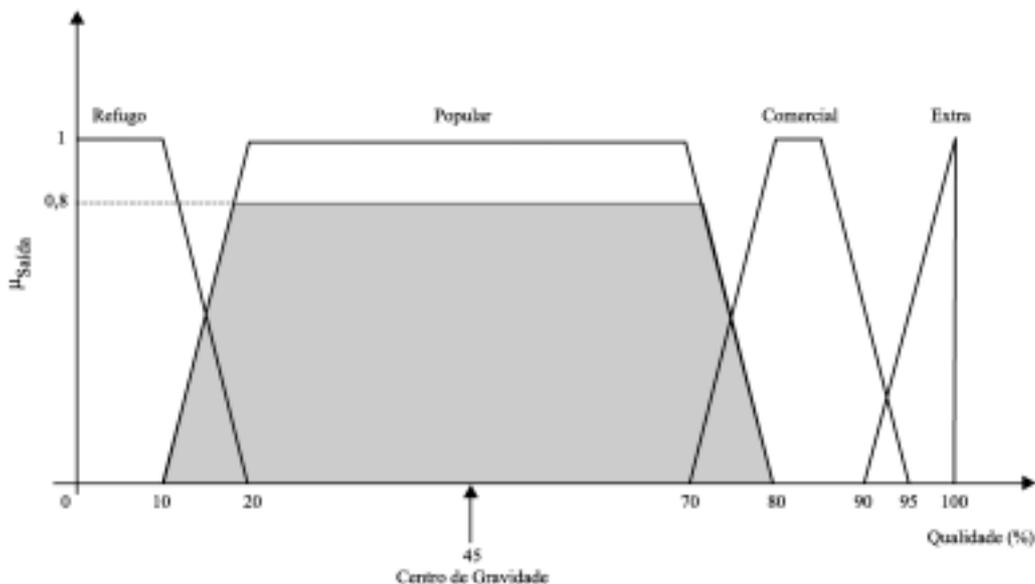


Figura 9. Processo de defuzzificação usando centro de gravidade.

Simulações

Foram realizadas simulações para testar a eficiência do algoritmo difuso. Utilizou-se para este fim, o software educativo FUDGE, cuja complexidade técnica é bastante reduzida. Foram feitas as seguintes considerações para o estudo:

- o objeto de estudo são peças cerâmicas lisas e com alto brilho, sendo considerado padrão, uma peça sem defeitos escolhida por um especialista.
- como variáveis lingüísticas de entrada definiu-se: defeitos superficiais e diferença de tonalidade.
- como variáveis lingüísticas de saída foram definidas as classes: extra, comercial, popular e refugio.

para simplificar as análises, foi considerado os dados referentes à 1 peça cerâmica e como dados de entrada do sistema, apenas 2 pontos desta peça, sendo: 2.05 mm² o ponto escolhido para fuzificação da variável lingüística *defeito superficial* e o ponto 17% para fuzificação da variável lingüística *diferença de tonalidade* (ver tabela 1).

As etapas do sistema em estudo são apresentados detalhadamente na seqüência abaixo.

Etapa de Fuzificação

As figuras 10 e 11 apresentam as funções de pertinência relativas às fuzificações das variáveis lingüísticas de entrada *defeito superficial* e *diferença de tonalidade*.

A tabela 1 faz um resumo das informações obtidas no processo de fuzificação do sistema.

Para a etapa de avaliação das regras considerou-se o método de inferência *máx – min*. Onde os consequentes são compostos pelo valor mínimo entre os antecedentes (opera-

Tabela 1. Fuzificação das variáveis de entrada.

Variáveis lingüísticas			
Diâmetro defeito = 2.05 mm ²		Tons de cinza = 17%	
Valor lingüístico	Grau de pertinência	Valor lingüístico	Grau de pertinência
Sem defeito	0.0	Sem dif. tonalidade	0.0
Muito peq.	0.0	Muito fraco	0.0
Pequeno	0.0	Fraco	0.6
Médio	0.8	Médio	0.4
Grande	0.4	Forte	0.0
Muito grande	0.0	Muito forte	0.0

dor intersecção “E”) e as entradas da fase de defuzzificação são obtidos tomando o valor máximo dos consequentes (operador união “OU”).

Etapa de Avaliação das Regras

Regra 1:

Se diâmetro do defeito for muito grande (0.0) **ou** diferença de tonalidade com intensidade muito forte (0.0), **então** classe de saída igual a *refugio* (0.0);

Regra 2:

Se diâmetro do defeito for médio (0.8) **e** diferença de tonalidade com intensidade fraca (0.6), **então** classe de saída igual *comercial* (0.6);

Regra 3:

Se diâmetro do defeito for médio (0.8) **e** diferença de tonalidade com intensidade também média (0.4), **então** classe de saída igual a *comercial* (0.4);

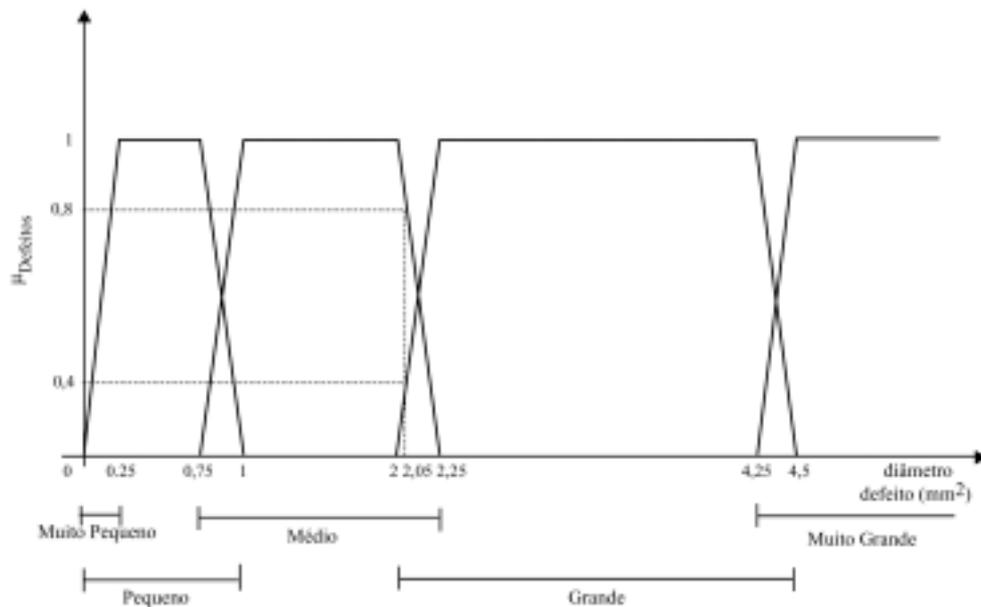


Figura 10. Fuzificação da variável lingüística de entrada *defeito superficial*.

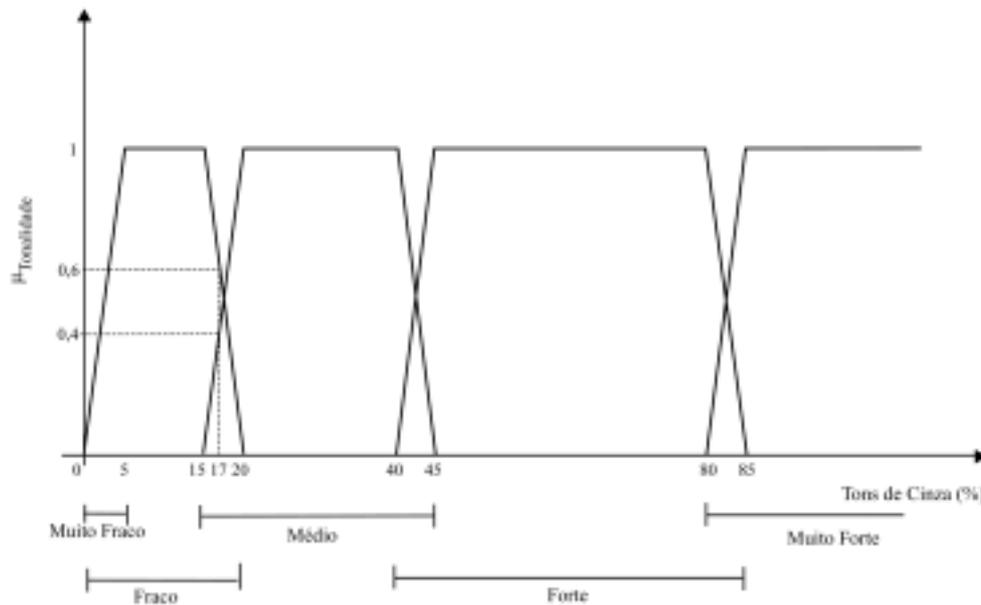


Figura 11. Fuzificação da variável lingüística de entrada *diferença de tonalidade*.

Regra 4:

Se diâmetro do defeito for grande (0.4) e diferença de tonalidade com intensidade fraca (0.6), então classe de saída igual a *popular* (0.4);

Regra 5:

Se diâmetro do defeito for grande (0.4) e diferença de tonalidade com intensidade média (0.4), então classe de saída igual a *popular* (0.4);

Regra 6:

Se diâmetro do defeito for igual a zero (0.0) e sem diferença de tonalidade (0.0), então classe de saída igual a *extra* (0.0).

A tabela 2 apresenta os valores resultantes da fase de avaliação de regras e entrada da fase de defuzificação.

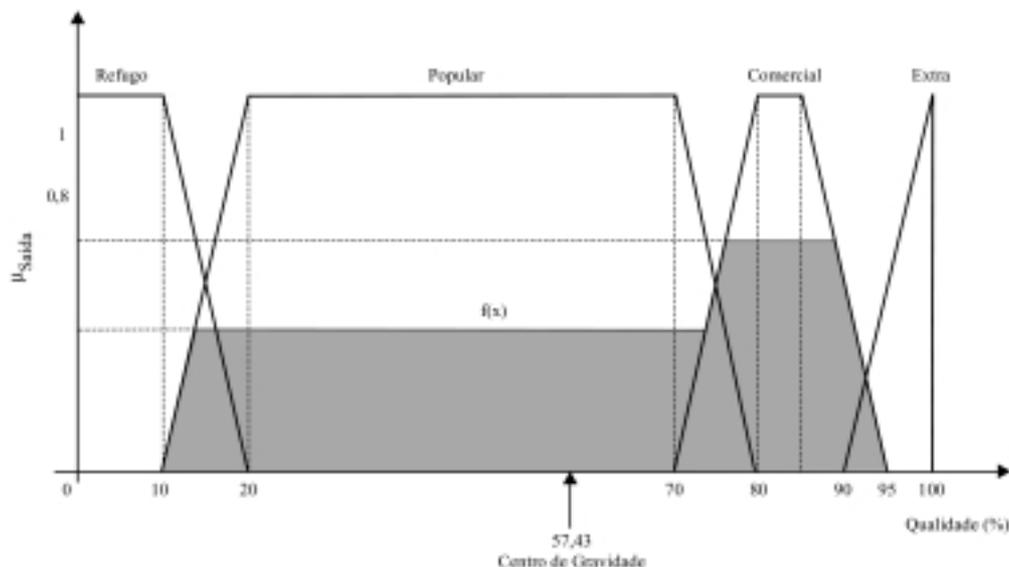


Figura 12. Curvas de defuzzificação correspondentes às classes de saída (extra, comercial, popular e refugo).

Tabela 2. Valores de pertinência obtidos da etapa de avaliação de regras.

Valor lingüístico	Grau de pertinência
Extra	0.0
Comercial	0.6
Popular	0.4
Refugo	0.0

Etapa de Defuzzificação

As equações referentes às curvas de saída do sistema (figura 12) são:

$$\mu(S)_{\text{refugo}} = \begin{cases} 1 & \text{se } 0 \leq S \leq 10 \\ 2 - 0.1s & \text{se } 10 < S \leq 20 \end{cases}$$

$$\mu(S)_{\text{popular}} = \begin{cases} 0.1s - 1 & \text{se } 10 \leq S \leq 20 \\ 1 & \text{se } 20 < S \leq 70 \\ 8 - 0.1s & \text{se } 70 < S \leq 80 \end{cases}$$

$$\mu(S)_{\text{comercial}} = \begin{cases} 0.1s - 7 & \text{se } 70 \leq S \leq 80 \\ 1 & \text{se } 80 < S \leq 85 \\ 9.5 - 0.1s & \text{se } 85 < S \leq 95 \end{cases}$$

$$\mu(S)_{\text{extra}} = \begin{cases} 0.1s - 9 & \text{se } 90 \leq S \leq 100 \\ 1 & \text{se } S = 100 \\ 0 & \text{se } S > 100 \end{cases}$$

Para o cálculo do centro de gravidade usou-se a função de defuzzificação amostrada. Amostrando-se $f(x)$, tem-se a seguinte expressão:

$$S = \frac{\sum_{x=a}^b xf(x)}{\sum_{x=a}^b f(x)}$$

Foi considerado, para execução dos cálculos, amostras espaçadas de 10 unidades (figura 12), tem-se então:

$$S = \frac{0.4 \times 20 + 0.4 \times 30 + 0.4 \times 40 + 0.4 \times 50 + 0.4 \times 60 + 0.4 \times 70 + 0.6 \times 80 + 0.5 \times 90}{0.4 + 0.4 + 0.4 + 0.4 + 0.4 + 0.4 + 0.6 + 0.5}$$

$$S = 57.43\%$$

Portanto o índice de qualidade do revestimento analisado é de 57.43%, o que o inclui na classe tipo *POPULAR*.

Conclusões

Está comprovado que o desempenho de inspetores humanos que atuam em processos de controle de qualidade é bastante deficiente, devido a essa tarefa ser rotineira e, muitas vezes, de longa duração, ocasionando, assim, sérios problemas para a garantia da qualidade dos produtos inspecionados.

Esse, sem dúvida, é um dos motivos que justificam plenamente o emprego de sistemas de inspeção visual automático que, certamente, desempenha seu papel com maior confiança, velocidade e de forma constante.

Por isso se propõe a utilização de técnicas computacionais para realizar a tarefa de inspeção do controle de qualidade de produtos industrializados.

É importante deixar claro que as aplicações consideradas nesse trabalho não se limitam apenas ao final do processo produtivo, onde é feito o controle de qualidade dos produtos acabados, mas também podem ser aplicados durante todo o processo produtivo. No caso de uma indústria cerâmica, pode-se considerar como boa aplicação as entradas dos processos de esmaltação e queima.

Referências Bibliográficas

1. Soares, Luis Fernando Gomes, *et al.*, “Fundamentos de Sistemas Multimídia”, Porto Alegre: Instituto de Informática da UFRGS, VIII Escola de Computação, 1992.
2. Oliveira, E.L., “Inspeção automática de cerâmicas lisas via lógica difusa”, Tese de Mestrado, Florianópolis, UFSC, 1997.
3. Zadeh, L.A.; Fuzzy Sets. Inform. Control, v.8, p.338-353, 1965.
4. Digital Image Processing W.K. Pratt – A Willey Intercience Publication 1991, 2nd edition.
5. Digital Image Processing R.C.Gonzalez, Paul Wintz, Addison-Wesley Publishing Company 1987.
6. Bonissone, P.P.; Badami, V.; Chiang, K.H. *et al.* Industrial applications of fuzzy logic to General Electric. Proc. IEEE, v.83, n. 3, p. 450-465, mar. 1995.
7. Classificação Automática de Cerâmicas Lisas Usando Lógica Difusa Eider L. Oliveira, Rui Seara e José Carlos M. Bermudez, III Congresso Brasileiro de Redes Neurais, IV Escola de Redes Neurais Florianópolis, Julho de 1997.
8. Tobias, O.J., Seara, R., Soares, F.A.P. and Bermudez, J.C.M., “An automatic inspection algorithm for using in the ceramic industry”, ICSPAT’94 Int. Conf. on Sign. Proces. Applic. & Tech., Dallas, Texas, USA, pp. 1061-1065, 1994.
9. Orth, Alexandre; Stemmer, M.R; Machado Neto, C.A.: “Projeto RAP – Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Reconhecimento Automático de Peças Mecânicas em uma Célula Flexível de Manufatura”. Revista Saber Eletrônica, ano 34, número 309, pp. 10-16, outubro de 1998.
10. Digital Image Processing R.C.Gonzalez, Richard E. Woods, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.