

# Estudo da porosidade em concretos de alto desempenho por técnicas de processamento de imagens

Joaquim Teixeira de Assis

Ricardo Einsfeld

Gil de Carvalho

José Renato C. Pessôa

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico

CP 972825 – 28630-050 – Nova Friburgo, RJ, Brasil

E-mail: joaquim@iprj.uerj.br.br

**Resumo:** Neste trabalho utiliza-se uma técnica de processamento de imagens para determinação da porosidade em concretos, onde o índice de vazios do material desempenha papel importante na diminuição da permeabilidade e aumento da resistência mecânica do material. Após a aquisição das imagens da superfície das amostras de concreto através de um scanner, estas foram separadas em suas componentes HSV através de um programa em MATLAB®. A componente V foi ajustada em contraste e binarizada e filtrada utilizando a operação de erosão com elemento estruturante circular para a remoção de pontos isolados, interpretados como ruído. Nessa imagem-resultado são contados os vazios obtidos para determinação da porosidade. Uma representação dessa operação é descrita no trabalho e comparações são feitas com relação à resolução empregada na aquisição das imagens das amostras de concreto.

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto de alto desempenho (CAD) é uma mistura composta com alto teor de cimento, baixo teor de água, alto teor de aditivo químico, aditivo mineral e agregados comuns (brita e areia). O CAD é produzido com produtos de aquisição relativamente fácil e rápida no comércio, e as técnicas e equipamentos envolvidos em sua produção são semelhantes aos utilizados para a produção de concretos tradicionais. Sua fabricação em obra ou central dosadora é hoje uma prática diária. Sua utilização aumenta a cada dia em todo o mundo, principalmente na execução de plataformas de petróleo, pontes,

edifícios altos, pré-fabricação e recuperação estrutural.

A microestrutura do concreto é modificada quando se introduzem os aditivos químicos e minerais, como o superplastificante ou superfluidificante e a microssílica. Esses aditivos agem não só na matriz como também na interface agregado-matriz.

Os superplastificantes são produtos redutores de água com capacidade de alterar a consistência do concreto. Geralmente os superplastificantes podem reduzir o teor de água de 25 a 35%, para uma mesma mistura, bem como podem aumentar a resistência às 24 horas de 50 a 75%.

A sílica ativa ou microssílica desempenha dupla função no melhoramento das características do concreto. Age tanto fisicamente quanto quimicamente. Fisicamente, age no preenchimento de vazios (efeito *filler*), aumentando a coesão e compacidade tanto da matriz quanto da ligação matriz-agregado. Quimicamente, reduz a espessura da chamada zona de transição entre o agregado e a matriz através de reações químicas (reação pozolâmica) que cristalizam o hidróxido de cálcio em cristais menores, transformando esses cristais em gel aglomerante de silicato de cálcio, proporcionando uma maior aderência nessa zona. Devido à baixa permeabilidade, com a porosidade podendo chegar a 10% da encontrada em concretos tradicionais e a porometria chegando em alguns casos à eliminação total de macroporos, observa-se nos CAD uma boa resistência aos ataques de cloretos e sulfatos, favorecendo a resistência contra corrosão de armaduras no concreto

armado, e contra a carbonatação e ataques de outros agentes agressivos gasosos vindos do ambiente.

A baixa porosidade proporciona ainda um aumento na resistência mecânica do concreto, uma vez que a matriz e a ligação agregado-matriz se apresentam mais homogêneas, menos sujeitas a situações de concentração de tensões. A determinação da porosidade do material torna-se, assim, medida importante na avaliação da durabilidade e resistência do CAD. Tradicionalmente, a porosidade é determinada pela medida do índice de vazios do material, seguindo-se a instrução normativa ABNT-NBR 9778 (1987), que estabelece uma relação baseada na massa do corpo de prova saturado, seco em estufa, e saturado imerso em água. A automação de métodos que determinem a porosidade dos CAD é um objetivo de trabalhos que vêm sendo produzidos recentemente (Peterson *et al.*, 2002). A maioria desses métodos trabalha com imagens de alta qualidade (microscopia e *scanner* de alta resolução) e com o uso de programas de processamento de imagens, obtendo um valor aproximado da porosidade presente em amostras de concreto.

O objetivo do presente trabalho é calcular o valor da porosidade em CADs a partir de imagens obtidas em *scanner* comercial, utilizando técnicas de processamento de pixel e morfologia matemática.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Imagens digitais

O termo imagem digital, ou simplesmente imagem, refere-se à função bidimensional de intensidade da luz  $f(x,y)$ , onde  $x$  e  $y$  denotam as coordenadas espaciais e o valor  $f$  em qualquer ponto  $(x,y)$  é proporcional ao brilho (ou níveis de cinza) da imagem naquele ponto.(JAIN). Para gerar uma imagem digital,  $f(x,y)$  deve ser digitalizada ao longo de  $x$  e  $y$ , e na amplitude  $z = f(x,y)$ . Para tanto é feita uma amostragem (normalmente uniforme) de  $f(x,y)$  nas direções  $x$  e  $y$ , gerando uma matriz de  $N \times M$  amostras, seguida de uma quantização do valor de  $f(x,y)$  em  $L$  níveis cores. Nesta matriz, cada elemento  $(x,y)$ ,  $x = 0, 1, 2, \dots, M-1$  e  $y = 0,$

$1, 2, \dots, N-1$  é chamado de pixel (uma abreviação de *picture elements*).

A caracterização da luz é fundamental na ciência que estuda as cores. Uma imagem colorida é uma imagem onde a cor em cada ponto  $(x,y)$  é definida através de três grandezas: luminância, matiz e saturação. A luminância está associada com o brilho da luz, a matiz com o comprimento de onda dominante e a saturação com o grau de pureza (ou intensidade) da matiz. Atualmente os modelos de cores são orientados para máquinas (vídeos, impressoras, scanners, etc.), para as mais variadas aplicações. O modelo mais utilizado para monitores e câmeras de vídeo é o RGB. Para impressoras, o mais usado é o CMY (cyan, magenta, amarelo). Existem ainda alguns outros modelos, como o YIQ, HSI e HSV, utilizados em sistemas de TV e outros.

A maioria das cores visíveis pelo olho humano pode ser representada como uma combinação de três cores primárias: vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*). O modelo de cor serve para facilitar a especificação de cores em um padrão. Substancialmente, um modelo de cor é especificado em um sistema de coordenadas 3D, e neste espaço cada cor é representada por um ponto. Assim, uma representação comum para uma imagem colorida utiliza três bandas R, G, e B com profundidade de 1 byte por pixel (a profundidade total será de 24 bits por pixel). No modelo RGB, cada cor aparece em sua componente espectral primária do vermelho (R), verde (G) e azul (B). O modelo é baseado no sistema de coordenadas cartesianas com o preto na origem (0,0,0) e o branco no extremo (1,1,1). A imagem colorida no sistema RGB é composta das intensidades das 3 cores variando do 0 a 255, o que permite a codificação de aproximadamente 17 milhões de cores diferentes, embora o olho humano não possa reconhecer mais que 350000 cores simultaneamente.

### 2.2 Processamento de imagens

Entendendo-se imagem como uma forma compacta de representar muitas informações, em um sistema de processamento de imagens estas informações podem passar por diversas formas de representação a partir do objetivo definido para aplicação. O primeiro passo é a

aquisição de uma imagem, onde pode ser utilizado um tipo de sensor para digitalização. O sensor pode ser um scanner, uma câmera de TV ou outro. A natureza do sensor e da imagem que ele produz é determinada pela aplicação.

O estágio da segmentação divide uma imagem de entrada em partes ou objetos constituintes. No caso de reconhecimento de imagens, o papel básico da segmentação é extrair objetos ou regiões (ex. vazios, grãos ou agregados de grãos da imagem).

A Morfologia Matemática foi criada em meados da década de 60, pelo grupo liderado por Georges Matheron e Jean Serra, da École Supérieure des Mines de Paris, em Fontainebleau (Banon e Barrera, 1998). Até o final dos anos sessenta, seu grande potencial para a análise de imagens ganhou reconhecimento e utilização na Europa, principalmente nas áreas envolvendo Microscopia. A partir dos anos oitenta, a Morfologia Matemática começou também a ser difundida nos Estados Unidos e hoje é um fértil campo de pesquisas. Ao longo das últimas três décadas a Morfologia Matemática tem sido aplicada intensivamente a problemas de análise de imagens microscópicas, e é uma ferramenta poderosa na análise destas imagens (Meyer, 1986).

No processamento de imagens, o estudo morfológico concentra-se nas características geométricas das imagens e aplica-se em diversas áreas do processamento de imagens, como filtragem, segmentação, realce e outras.

A idéia principal da morfologia matemática consiste em conjuntos de *picture elements* (pixels), que são reunidos em grupos, representando uma estrutura bidimensional (forma), e sobre os quais são realizadas operações matemáticas que ressaltam aspectos específicos das formas para que estas possam ser reconhecidas e medidas.

A Morfologia Matemática pode ser traduzida como a aplicação de definições e princípios matemáticos ressaltando aspectos específicos das formas permitindo que sejam contadas ou reconhecidas. É uma metodologia para a descrição de operadores, e sua base consiste em extrair de uma imagem desconhecida a sua geometria e topologia através da utilização da transformação de uma outra imagem completamente definida, chamada elemento estruturante. Existem dois

operadores básicos (abertura e fechamento), e todas as outras operações são formadas a partir desses dois operadores (ex. dilatação, erosão, esqueletização, etc.). As principais aplicações da Morfologia Matemática são nos processos de filtragem de ruídos, segmentação de partes, esqueletização, etc.

### 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para testar a possibilidade de obter os vazios em amostras de CAD utilizando um *scanner* comercial, foi utilizada uma fatia de uma amostra de CAD com 10 cm de diâmetro, onde foram selecionadas quatro regiões de obtenção de imagens (Fig.1). Essas imagens foram digitalizadas com resoluções entre 200 e 9600 dpi.

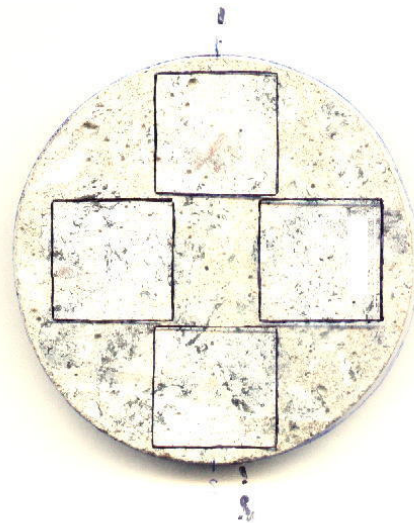


Figura 1 – Amostra de CAD com as quatro regiões que foram digitalizadas.

Foi desenvolvido um programa em MATLAB® para ler a imagem e separá-la em suas componentes HSV. A componente V foi ajustada em contraste e binarizada. Essa imagem foi filtrada utilizando a operação de erosão com elemento estruturante circular para a remoção de pontos isolados, que está sendo interpretado como ruído. Nessa imagem-resultado foram contados os vazios obtidos. Uma representação dessa operação é descrita na Fig. 2.

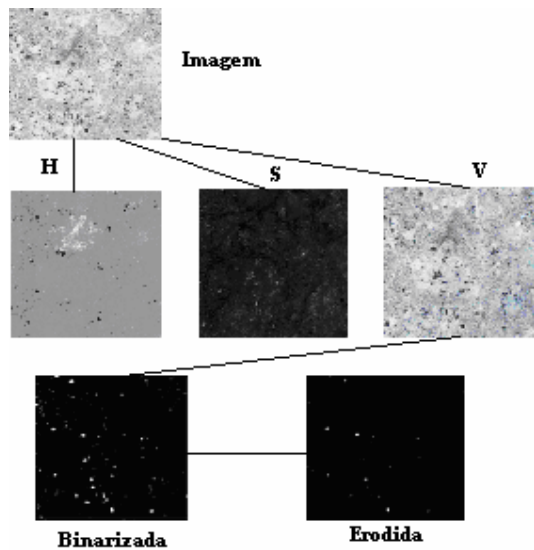


Figura 2 – Sumário das etapas de processamento. A imagem digitalizada é dividida nas suas componentes H, S e V, binarizada e então filtrada por um processo de erosão.

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

Foi medida uma amostra não caracterizada de CAD com 10 cm de diâmetro. Nessa amostra, foram tomadas quatro regiões quadradas distintas com tamanhos aproximados de 1” x 1”. As imagens foram obtidas para resoluções de 200 a 9600 dpi. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Porosidades obtidas pelo programa com as quatro imagens da amostra de CAD para resoluções de 200 a 2400 pixels/polegada.

Resolução (dpi)	Porosidade (%)			
	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
200	2,13	3,60	2,61	4,85
400	2,11	3,62	2,41	4,48
600	2,15	3,50	2,40	4,31
800	2,23	3,64	2,41	4,32
1200	2,23	3,54	2,40	4,09
2400	2,19	3,52	2,31	4,09
4800	2,12	3,48	2,27	3,98

Os valores obtidos estão coerentes com os obtidos em outros trabalhos sobre porosidade em CAD (Peterson *et al.*, 2002).

Observando-se a Tabela 1, pode-se dizer que o valor da porosidade varia bastante com a região de medida. Não se pode ainda concluir que o resultado depende da resolução empregada na aquisição da imagem. Entretanto, nota-se uma tendência de convergência dos resultados encontrados para as várias regiões da amostra para um valor médio à medida que aumenta essa resolução.

No prosseguimento deste estudo, pretende-se obter valores do índice de porosidade de amostras de CAD obtidos de corpos de prova cilíndricos moldados no Laboratório de Ensaio Mecânicos – setor de Engenharia Civil (LEMEC-CIV) do IPRJ. Esse procedimento permitirá a aferição do método, uma vez que a comparação entre os resultados digitais e os resultados experimentais será feita para amostras do mesmo concreto. Os resultados experimentais serão obtidos pelo método tradicional prescrito na norma ABNT-NBR 9778 (1987) através de ensaios a serem realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da UERJ. Esses estudos permitirão, ainda, uma correlação entre a porosidade e a resistência à compressão do concreto, uma vez que parte dos corpos de prova serão testados à compressão de acordo com a norma ABNT-NBR 5739 (1994).

#### 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentada uma técnica de processamento de imagens para determinação da porosidade em concretos, tendo sido particularmente analisado o desempenho em amostra de concreto de alto desempenho. Embora o estudo ainda se encontre em fase inicial, os resultados encontrados até o momento se mostram promissores, com valores obtidos da mesma ordem de grandeza e pequena diferença em relação ao índice obtido experimentalmente por outros autores. Verificou-se ainda uma grande diferença no valor da porosidade em função da região de medida na amostra e que

há uma tendência de redução das diferenças entre as várias regiões à medida que aumenta a resolução empregada na aquisição da imagem. No prosseguimento desse estudo serão obtidos valores digitais e experimentais da porosidade para amostras de concreto da mesma batelada, o que permitirá a aferição da técnica desenvolvida.

### ***Agradecimentos***

Os autores agradecem ao suporte financeiro dado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) para desenvolvimento desta pesquisa.

### **Referências**

- ABNT-NBR 5739 (1994) – “*Concreto – ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico*”, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT-NBR 9778 (1987) – “*Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica*”, Rio de Janeiro.
- ASTM C 457-90 (1990) - “Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete”, *1990 Annual Book for ASTM Standards*, Vol. 4.02, American Society for Testing Materials, Philadelphia, Pa., pp. 232-244.
- Banon, G.J.F.; Barrera, J. (1998) – “*Bases da Morfologia para a Análise de Imagens Binárias*”, INPE, São José dos Campos.
- Meyer, F. (1986) – “*Automatic Screening of Cytological Specimens*”, *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 35, pp.356-369.
- Peterson K., Sutter L., VanDam T. (2002) – “Air void analysis of hardened concrete with a highresolution flatbed scanner”, *Proceedings of International Conference on Manufacturing Automation (ICMA2002)*.