

## Image processing techniques applied to concrete's porosity determination

### Técnicas de processamento de imagem aplicadas à determinação da porosidade do concreto

DOI:10.34117/bjdv7n2-364

Recebimento dos originais: 10/01/2021

Aceitação para publicação: 10/02/2021

#### **Flávia L. de A. Nascimento**

Mestrado em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia pela Universidade Estadual de Santa Cruz.  
Universidade Estadual de Santa Cruz, Campus Soane Nazaré de Andrade - Ilhéus, BA, Brasil.  
E-mail: lalmeida.flavia@gmail.com

#### **Susana M. Iglesias**

Doutorado em Modelagem Computacional pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
Universidade Estadual de Santa Cruz, Campus Soane Nazaré de Andrade - Ilhéus, BA, Brasil.  
E-mail: smiglesias@uesc.br

#### **Paulo E. Ambrósio**

Doutorado em Ciências Médicas pela Universidade de São Paulo.  
Universidade Estadual de Santa Cruz, Campus Soane Nazaré de Andrade - Ilhéus, BA, Brasil.  
E-mail: peambrosio@uesc.br

#### **José Renato de C. Pessôa**

Doutorado em Modelagem Computacional pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
Universidade Estadual de Santa Cruz, Campus Soane Nazaré de Andrade - Ilhéus, BA, Brasil.  
E-mail: jrpeessoa@gmail.com

#### **Dany S. Dominguez**

Doutorado em Modelagem Computacional pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
Universidade Estadual de Santa Cruz, Campus Soane Nazaré de Andrade - Ilhéus, BA, Brasil.  
E-mail: dsdominguez@gmail.com

#### **Marina D. A. Freire**

Mestrado em Ciência, Inovação e Modelagem em Materiais pela Universidade Estadual de Santa Cruz.  
Universidade Estadual de Santa Cruz, Campus Soane Nazaré de Andrade - Ilhéus, BA, Brasil.

E-mail: marinafreireeng@gmail.com

## RESUMO

A porosidade é uma das propriedades dos concretos que está associada à sua qualidade por influenciar diretamente na sua resistência. A microtomografia é uma técnica não destrutiva para caracterização de materiais que permite a obtenção de imagens da sua estrutura interna. Informações sobre esta estrutura interna podem ser extraídas e analisadas utilizando técnicas de processamento e análise de imagens. O objetivo deste trabalho é implementar uma metodologia que, usando técnicas de processamento de imagens, permita analisar imagens geradas por microtomografia computadorizada com o intuito de determinar a porosidade em concretos.

**Palavras-chave:** Concreto, Microtomografia, Processamento de Imagem, Porosidade.

## ABSTRACT

Porosity is one of concrete's properties that is associated with its quality by directly influencing its strength. Microtomography is a non-destructive technique for materials' characterization that allows to obtain its internal structure's images. Information about this internal structure can be extracted and analyzed using image processing and analysis techniques. This work's objective is to implement a methodology that, using image processing techniques, allows to analyze images generated by computerized microtomography, in order to determine the porosity in concrete.

**Keywords:** Concrete, Microtomography, Image Processing, Porosity.

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material composto basicamente por um meio aglomerante, obtido a partir da mistura de cimento e água, no qual está inserido um material granular como a areia, pedregulho ou brita denominado agregado.

Uma das principais propriedades do concreto é a resistência, que determina a qualidade das estruturas. Esta resistência está associada diretamente ao volume de vazios presente na matriz cimentícia. Quanto maior o volume de vazios no interior do concreto, menor será sua resistência. Além disso, a porosidade está relacionada à durabilidade do concreto por propiciar o transporte de agentes potencialmente agressivos como ar, água e gases [1].

A microtomografia computadorizada de raios X (micro-CT) é uma técnica de análise não destrutiva que permite a reconstrução da estrutura interna de materiais. Esta técnica permite a obtenção de objetos em alta resolução, segundo [2] 50 microns ou menos, num rápido processo de aquisição. Por esta razão tem sido uma ferramenta

interessante para a análise da estrutura interna de materiais heterogêneos onde as propriedades da microestrutura são extremamente difíceis de quantificar [3].

Em compostos cimentícios, a  $\mu$ CT tem sido utilizada há décadas como técnica de caracterização e análise de características como porosidade, permeabilidade e presença de fraturas em argamassas e concretos [3] [4] [5] [6] [7] [8].

Aplicando técnicas de processamento de imagens é possível extrair informação sobre a estrutura interna do material, usando as imagens obtidas através do microtomografia.

Neste trabalho apresentamos uma técnica não destrutiva para o cálculo da porosidade do concreto usando processamento de imagens em microtomografias de raios X. Na próxima seção apresentamos fundamentos teóricos sobre o processamento de imagens. Na seção 3 detalhamos os materiais e a metodologia utilizados no trabalho. Na seção 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos. Por fim, na seção 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho.

## 2 PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

Uma imagem digital monocromática pode ser descrita como uma função de intensidade de luz  $f(x,y)$  onde  $x$  e  $y$  denotam coordenadas espaciais e o valor de  $f$  no ponto  $(x,y)$  é proporcional ao brilho (ou nível de cinza) da imagem neste ponto [9].

Uma imagem digital é formada por uma finidade de pontos onde cada ponto é denominado elemento de imagem ou pixel (picture elements). Segundo [10], as posições de cada pixel seguem a notação de matriz, onde o primeiro índice ( $m$ ) representa a posição de uma linha e o segundo índice ( $n$ ) representa a posição de uma coluna. Os valores de  $m$  e  $n$  variam de 0 até  $m-1$  e de 0 até  $n-1$ , respectivamente. Desta forma, uma imagem digital em tons de cinza é formada por  $m \times n$  pixels que possuem valores variando no intervalo de 0 a 255.

A primeira etapa do processamento de imagens consiste na aquisição das mesmas onde pode ser utilizado um tipo de sensor para digitalização como um scanner, uma câmera de TV, um tomógrafo, entre outros.

A próxima etapa consiste na segmentação, onde as imagens são divididas em partes para extrair os objetos ou regiões de interesse (ex. vazios, agregados, pasta de cimento). Segundo [11], o processo de segmentação consiste em subdividir uma imagem em suas partes podendo ser uma das etapas mais complicadas do processamento. De acordo com [12] os algoritmos de segmentação são baseados na propriedade de

descontinuidade onde presume-se que seja possível a detecção das fronteiras das regiões devido às descontinuidades em intensidades ali presentes e, na propriedade de similaridade, onde a imagem é dividida em regiões que sejam semelhantes de acordo com critérios preestabelecidos.

Dentre as técnicas que se baseiam na segmentação por regiões encontra-se a limiarização ou *thresholding* onde os pixels recebem o valor 0 ou 1 a partir de um valor de intensidade limiar ( $T$ ) resultando em uma imagem binária onde os objetos de interesse são separados do restante da imagem. Quando o valor de  $T$  é constante e pode ser aplicado a toda imagem o processo de limiarização é denominado global [12]. Um dos métodos mais conhecidos de limiarização global é apresentado por Otsu [13].

Para auxiliar na extração destas informações pode-se utilizar a morfologia matemática. Esta ferramenta, baseada na teoria dos conjuntos, consiste na aplicação de operações matemáticas às imagens de maneira a ressaltar aspectos específicos das formas, pela transformação através de um conjunto definido denominado elemento estruturante, para que estas possam ser analisadas [9]. As operações morfológicas básicas são as operações de dilatação e erosão. As operações de dilatação são basicamente responsáveis por expandir e encolher uma imagem, respectivamente.

Outras duas importantes operações morfológicas são as operações de abertura e fechamento. O processo de abertura, caracterizado pela aplicação da operação morfológica de erosão seguida de uma dilatação, é geralmente utilizado para suavizar o contorno de um objeto, romper os istmos e eliminar saliências finas. Já o processo de fechamento, obtido a partir de uma operação de dilatação seguida de erosão, também é utilizado com intenção de suavizar contornos, porém, ao contrário da operação de abertura, une as descontinuidades estreitas e alonga os golfos finos, elimina pequenos buracos e preenche lacunas.

Na próxima seção apresentamos uma metodologia para a determinação da porosidade em concretos utilizando os fundamentos teóricos apresentados aqui.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a confecção dos corpos de prova deste trabalho foram utilizados cimento Portland CP II E 40 RS, água, areia fina como agregado miúdo e britas 0 e 1 como agregados graúdos.

O preparo da massa foi realizado manualmente seguindo orientação da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e os corpos de prova foram moldados em fôrmas cilíndricas com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura.

Todo processo de produção dos corpos de prova foi realizado por [14] no Laboratório de Ensaios Mecânicos e Resistência dos Materiais (LEMER) da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC).

As imagens de tomográficas foram obtidas através de um scanner de alta energia SkyScan® 1173, versão 1.6, do Laboratório de Ensaios Físicos do Instituto Politécnico da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. A configuração do aparelho foi ajustada para uma corrente de 80  $\mu$ A e uma tensão de 100 kV.

Para ajustar o espécime ao porta amostra do tomógrafo, foi necessário extrair do corpo de prova, um testemunho com 25 mm de diâmetro e 40mm de altura. As projeções foram reconstituídas através do software NRecons® versão 1.7.7.0.

Para o testemunho em questão foram geradas 2.125 imagens da sua seção transversal, todas em escala de cinza (8 bits) com 2240x2240 pixels cada uma. A Figura 1 apresenta uma imagem da seção transversal da amostra.

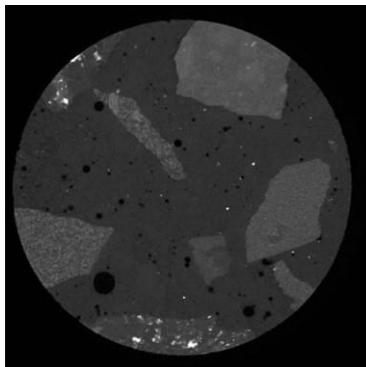


Figura 1 – Seção transversal da amostra obtida por microtomografia.

O cálculo da porosidade da amostra foi dividido em duas etapas. A primeira etapa, o pré-processamento das imagens, consistiu na binarização das imagens. Para determinação do *threshold* utilizado na binarização das imagens foi escolhido o método de Otsu [13]. A ideia principal é iterar por todos os possíveis valores para o *threshold* de uma imagem e determinar aquele que oferece menor soma da variância intraclasse da imagem. Para calcular o número de poros em cada fatia e evitar problemas com as bordas da imagem e outros ruídos, invertamos os valores 0 e 1 nas imagens binarizadas.

Finalmente, nesta fase de pré-processamento, as imagens foram filtradas utilizando-se a operação morfológica de fechamento caracterizada pela aplicação do processo de dilatação seguida pelo processo de erosão com elemento estruturante circular de raio 3.

Na segunda etapa, calculamos a razão de pixels que representam os poros em cada fatia da imagem. Os valores obtidos foram somados e em seguida divididos pelo número total de imagens, obtendo a porosidade média da amostra. A Figura 2 apresenta as etapas do processamento de uma das imagens obtidas no microtomógrafo.

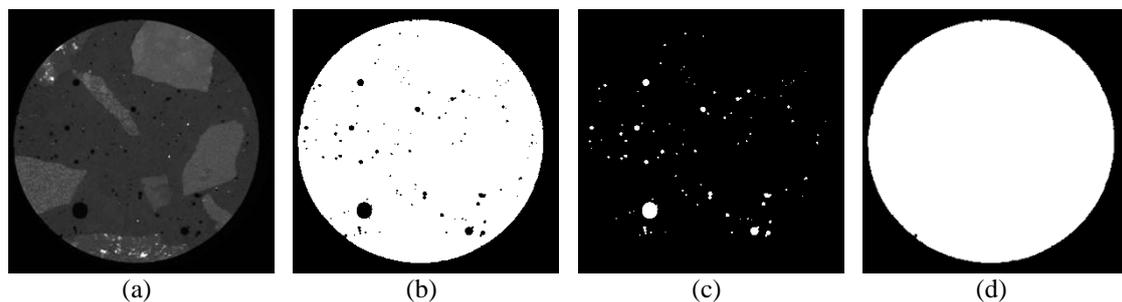


Figura 2 – Etapas do processamento de uma das imagens obtidas no microtomógrafo. (a) Imagem original (b) Imagem binarizada (c) Imagem invertida (d) Área total da amostra binarizada.

#### 4 RESULTADOS

Através da binarização das imagens, seguida da aplicação da operação morfológica de fechamento, foi possível destacar, em cada fatia, os pixels que representam os poros e, conseqüentemente, obter a porcentagem de vazios. Na Figura 3 apresentamos o gráfico com a distribuição da porosidade ao longo das fatias.

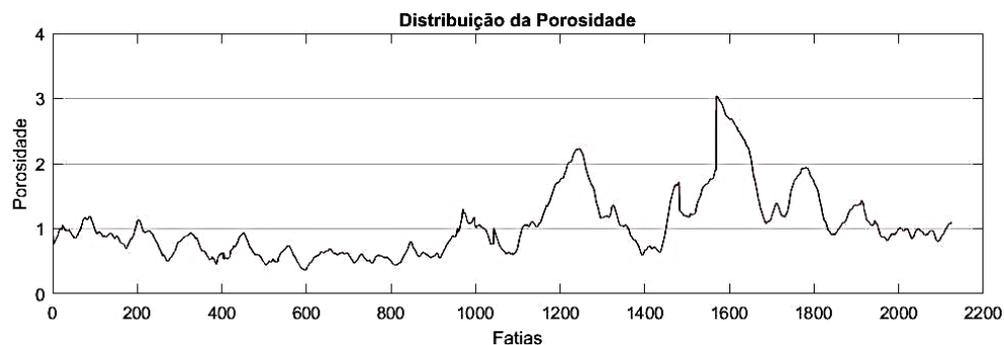


Figura 3 – Distribuição da porosidade ao longo das fatias.

Pode-se perceber que, no decorrer das imagens, os valores da porosidade variam entre 0,5% e 3%. Essa variação da porosidade ao longo das fatias pode ocorrer devido ao concreto ser um material heterogêneo e existir a possibilidade de, em algumas fatias, estar

presente um agregado graúdo de maior dimensão, o que alteraria a porosidade naquele trecho [7]. A Tabela 1 apresenta o número de imagens analisadas, a porosidade média e o desvio padrão encontrados para a amostra.

Tabela 1 – Resultados encontrados para o corpo-de-prova.

Fatias	Porosidade Média (%)	Desvio Padrão (%)
2.125	1,037	0.504

O valor de porosidade média encontrado para este concreto é compatível com os valores encontrados por [7] ao analisar a porosidade de um concreto de 20 MPa através da análise de imagens obtidas através de um scanner comercial e de um microtomógrafo.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentada uma metodologia para obtenção da porosidade de concretos a partir de imagens microtomográficas.

Através da aplicação de técnicas de processamento e análise de imagens foi possível determinar a distribuição da porosidade ao longo das imagens e, conseqüentemente, a porosidade média.

A microtomografia de raios X associada às técnicas de processamento e análise de imagens apresenta-se como uma ferramenta adequada para a determinação da porosidade em concretos.

**REFERÊNCIAS**

- [1] P. K. Metha and P. J. M. Monteiro, *Concreto - Microestrutura, Propriedades e Materiais*, Ibracon, 2a Ed. São Paulo, 2014.
- [2] M. J. Paulus, S. S. Gleason, S. J. Kennel, P. R. Hunsicker, and D. K. Johnson, "High Resolution X-ray Computed Tomography: An Emerging Tool for Small Animal Cancer Research", *Neoplasia*, Volume 2, Issues 1–2, Pages 62-70, 2000.
- [3] E. N. Landis, "X-ray Microtomography Applications to Heterogeneous Materials", *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Anaheim, California USA, 2004.
- [4] E. Masad, B. Muhunthan, N. Shashidhar, T. Harman, "Internal Structure Characterization Of Asphalt Concrete Using Image Analysis", *J. Comput. Civ. Eng.*, 1999, 13:88-95.
- [5] S. Lu, E. N. Landis, D. T. Keane, "X-ray microtomographic studies of pore structure and permeability in Portland cement concrete", *Materials and Structures*, 2006, 39:611–620.
- [6] D. Bouvard et al, "Characterization and simulation of microstructure and properties of EPS lightweight concrete", *Cement and Concrete Research*, 2007, 37 1666–1673.
- [7] J. R. de C. Pessôa, J. S. Dominguéz, G. de Carvalho, J. T. de Assis, "Porosidade do Concreto Determinada por Microtomografia com Raio X e Processamento de Imagens", *Engenharia Estudo e Pesquisa*. ABPE, v. 14 - n. 2 - p. 20-26 - jul./dez, 2014.
- [8] E. E. Bernardes et al, "Caracterização de corpos de prova de tamanho reduzido desenvolvidos para ensaios de microtomografia de raios X ( $\mu$ -CT)", *IBRACON Structures and Materials Journal*, vol. 10, no 5, 2017.
- [9] O. Marques Filho, H. Vieira Neto, *Processamento Digital de Imagens*, Rio de Janeiro: Brasport, 1999, ISBN 8574520098.
- [10] B. Jahne, *Digital Image Processing*, 5a Ed. Editora Spring, 2002, Berlin, Alemanha.
- [11] S. C. M. Neves, E. G. Pelaes, "Estudo e implementação de técnicas de segmentação de imagens" *Revista Virtual de Iniciação Acadêmica da UFPA*. Vol 1, No 2, Julho, 2001, Pag 1-11.
- [12] R. C. Gonzales, R. E. Woods, *Processamento de Imagens Digitais*, Edgard Blu ed., 2010, São Paulo.
- [13] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms", *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, VOL. SMC-9, No. 1, JANUARY , 1979.
- [14] L. A. Dias, "Concreto incorporado com eva e fibras de piaçava: uma alternativa sustentável na construção civil", 2017, unpublished.