

# ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE AUTOMATIZAÇÃO DA CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE FERRO FUNDIDO NODULAR NUMA FUNDIÇÃO DO INTERIOR DO RIO DE JANEIRO

David Alves Lidugério <sup>1</sup>, Rodrigo Silva Oliveira <sup>2</sup>, José Mauro Moraes Junior <sup>3</sup>

## Resumo

O controle microestrutural de peças fundidas de ferro fundido é importante para a garantia de suas propriedades mecânicas. Tradicionalmente a análise metalográfica é realizada pelo método comparativo, onde o técnico compara a imagem observada ao microscópio óptico, ou uma imagem digital adquirida da amostra, a padrões de uma norma. Este projeto teve como objetivo avaliar a aplicabilidade de PADI na caracterização microestrutural de ferro fundido nodular de uma fundição do interior do Rio de Janeiro. O programa ImageJ foi utilizado para PADI, pois trata-se de um programa grátis, que pode ser baixado livremente na internet. Não foi possível automatizar a caracterização microestrutural das amostras atacadas quimicamente. Os resultados foram comparados com os resultados de outros autores, o que evidenciou que os atuais equipamentos de aquisição das imagens digitais da empresa não permitem aquisição de imagens adequadas para caracterização microestrutural automática por PADI.

**Palavras-chave:** Ferro Fundido Nodular, Microscopia Digital, Processamento e Análise Digital de Imagens.

## STUDY OF TECHNICAL FEASIBILITY OF AUTOMATION OF THE MICRO-STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF NODULAR CAST IRON IN A FOUNDRY OF INTERIOR OF RIO DE JANEIRO

## Abstract

The microstructural control of cast iron parts is important to guarantee their mechanical properties. Traditionally the metallographic analysis is performed by the comparative method, where the technician compares the image observed through an optical microscope or an acquired digital image of the sample, at standard. This project aims at evaluating the applicability of PADI in the microstructural characterization of nodular cast iron of a foundry in the interior of Rio de Janeiro. The ImageJ software was used for PADI because it is a free program that can be freely downloaded from the internet. It was not possible to automate the microstructural characterization of the samples etched. The results were compared with the results from other authors, which showed that the current the company's digital images acquisition equipment does not allow acquisition of suitable images for automatic microstructural characterization by PADI.

**Keywords:** Nodular Cast Iron, Digital Microscopy, Digital Image Processing And Analysis.

<sup>1</sup> Estudante de Eng. de Produção no Centro universitário Geraldo Di Biase - davidalveslidugerio@gmail.com

<sup>2</sup> Estudante de Eng. de Produção no Centro universitário Geraldo Di Biase - rsomsm@oi.com.br

<sup>3</sup> Professor / pesquisador no curso de Eng. de Produção no Centro universitário Geraldo Di Biase - josemaurojr@ugb.edu.br

## **Introdução**

Uma das etapas da fabricação de peças fundidas de ferro fundido é o controle da composição microestrutural do material, pois esta é de fundamental importância na garantia de suas propriedades mecânicas. O ferro fundido possui partículas de grafita de diferentes formas e diferentes matrizes metálicas, que influenciam diretamente nas suas propriedades mecânicas (CHIAVERINI, 1988). Tradicionalmente, a classificação de ferro fundido é feita de forma visual, pelo método comparativo, onde amostras observadas ao microscópio óptico são comparadas com as imagens de referência de normas como a ISO-945 (ISO, 1975).

A Microscopia Digital e o Processamento e Análise Digital de Imagens (PADI) são técnicas relativamente novas, capazes de melhorar a informação visual para análise e interpretação humana ou a percepção automática por máquinas (GONZALEZ; WOODS, 2000). O grande avanço que estas técnicas vêm sofrendo nas últimas décadas pode ser notado na área acadêmica, na qual o assunto é objeto de pesquisas, teses e dissertações nas mais importantes universidades brasileiras e estrangeiras. O avanço também pode ser notado na esfera industrial, onde a cada dia aumenta o número de empresas que produzem, comercializam e utilizam soluções de Microscopia Digital e Processamento de Imagens em seus processos.

Este projeto teve como objetivo verificar a aplicabilidade da microscopia digital e PADI, utilizando o programa ImageJ, na caracterização microestrutural de ferro fundido nodular em uma fundição do interior do Rio de Janeiro. Para verificar a aplicabilidade foram utilizados os atuais equipamentos, materiais e técnicas para preparação metalográfica e aquisição das imagens digitais da empresa, com duas vantagens e limitações.

### **Ferro fundido nodular**

Chiaverini (1988, p.494) defini ferro fundido como: “[...] liga ferro-carbono-silício, de teores de carbono geralmente acima de 2,0%, em quantidade superior à que é retida em solução sólida na austenita, de modo a resultar carbono parcialmente livre, na forma de veios ou lamelas de grafita”.

Dentro da definição geral de ferro fundido pode-se distinguir alguns tipos de liga, como ferro fundido cinzento, branco, mesclado, maleável e nodular, sendo este último estudado neste projeto. O ferro fundido nodular é obtido devido a um tratamento que o metal recebe ainda no estado líquido, resultando em esferoidização da grafita, tornando o material dúctil se comparado com o ferro fundido cinzento (CHIAVERINI, 1988; CALLISTER JR., 1991).

Os ferros fundidos nodulares são caracterizados pela quantidade, tamanho e forma dos nódulos de grafita, além da composição da matriz metálica, que é formada de diferentes frações de ferrita e perlita. A fração de ferrita e perlita presente depende de algumas variáveis como teor de carbono, e parâmetros de tratamentos térmicos, quando aplicável (CALLISTER JR., 1991).

### **Processamento e análise digital de imagens**

O termo Imagem Digital pode referir-se ao processo específico de transformar imagens em dados digitais.

Uma imagem digital é formada por uma matriz de números, onde cada um deles identifica a cor ou a intensidade do pixel de posição correspondente na imagem. Assim, esta matriz constitui-se num mapa que reproduz a imagem pixel a pixel. (GOMES, 2001). Na imagem digital existem dois elementos fundamentais, resolução e quantização. Resolução trata-se do tamanho, na imagem real, que um pixel da imagem digital representa, ou seja, a resolução é a capacidade máxima de discriminação de dois pontos na imagem. Quantização, por sua vez, trata-se do número máximo de níveis de intensidade que esta imagem pode apresentar. De uma forma geral, em microscopia óptica as imagens são de oito bits, 256 tons de cinza (quantização), com 1300 x 1030 pixels (resolução).

Processamento e Análise Digital de Imagens (PADI) é uma técnica que utiliza operações matemáticas para alterar os valores dos pixels de uma imagem digital, modificando-a, para facilitar sua visualização ou para preparar a imagem para ser analisada pelo próprio computador.

O PADI é realizado por programas de computador, como por exemplo o ImageJ, utilizado neste projeto.

## **Material e método**

Como este projeto foi desenvolvido numa fundição específica as amostras, as técnicas e os materiais utilizados na preparação metalográfica, e os equipamentos de aquisição de imagens digitais são de origem desta empresa, com suas vantagens e limitações.

Foram escolhidas aleatoriamente quatro amostras de ferro fundido nodular com diferentes matrizes metálicas, duas com matriz predominantemente ferrítica e duas com matriz predominantemente perlítica. As amostras foram preparadas metalograficamente por lixamento e polimento, conforme rotina da empresa. A aquisição das imagens foi realizada por um microscópio óptico PME Olympus Tokyo, com câmera digital acoplada Sony ssc-c104 Hyper.

Com as amostras primeiramente sem ataque, utilizando uma lente objetiva de 10X, capturou-se uma imagem de cada amostra. Em seguida as amostras foram retiradas do porta-amostras do microscópio e atacadas com uma solução de Nital para revelar a fase perlita. As amostras foram recolocadas no porta-amostras e capturou-se uma imagem de cada amostra atacada. Em seguida as imagens digitais foram processadas e analisadas por processamento e análise digital de imagens (PADI), utilizando o programa ImageJ.

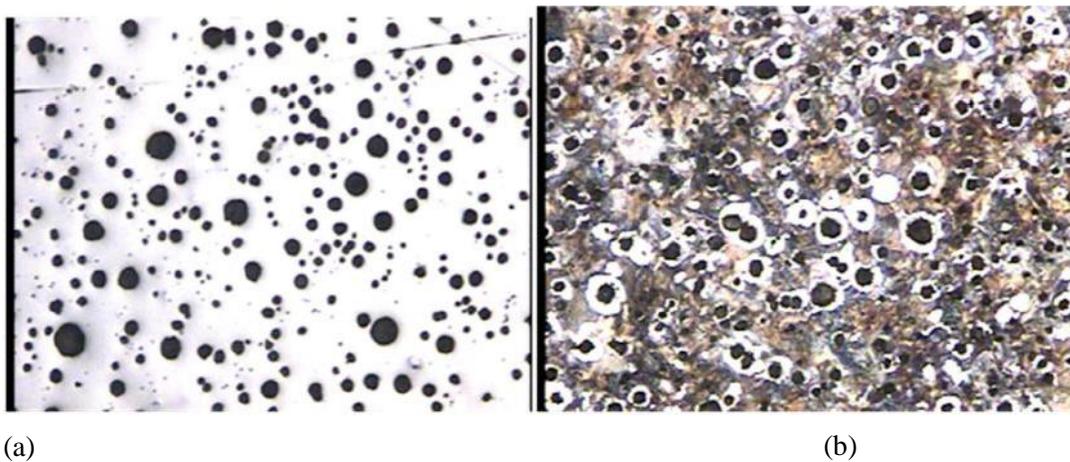
A discriminação das fases utilizando técnicas de PADI é realizada através da análise do histograma de tons de cinza dos pixels. Os histogramas das imagens são analisados pelo programa ImageJ, e determina-se um tom de limiar para separar as duas faixas de intensidade. O resultado deste processo, chamado segmentação, é uma imagem binária, ou seja, com apenas dois tons, preto e branco. A partir das imagens binárias das amostras sem ataque químico é possível realizar a caracterização da grafita, ou seja, medir a fração de área e a densidade (quantidade de nódulos por área). A partir das imagens binárias das amostras com ataque químico é possível realizar a caracterização da ferrita, ou seja, sua fração de área.

## Resultados e discussão

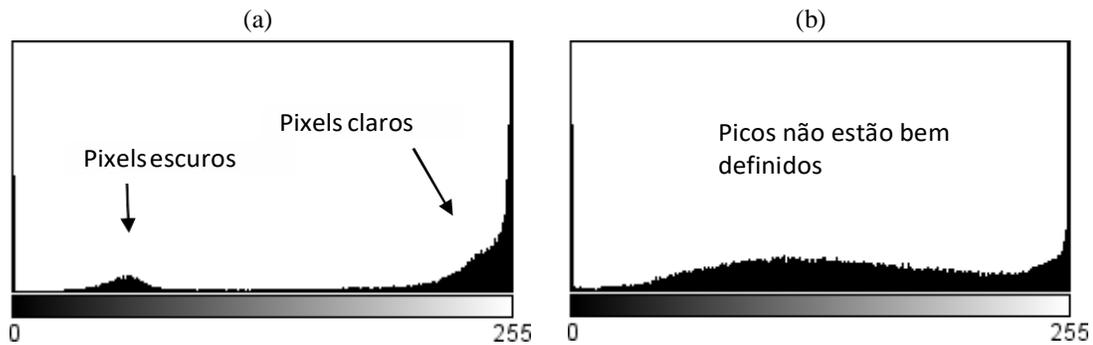
A Figura 1 mostra as imagens sem e com ataque químico de uma das amostras analisadas neste projeto. As imagens capturadas são originalmente em RGB, com resolução digital de 319 x 239 pixels. A primeira atividade foi transformar a imagem de RGB para 8-bit, o que é necessário para a realização das análises no programa ImageJ.

A Figura 2(a) mostra o histograma da Figura 1(a), ou seja, amostra sem ataque químico, e a Figura 2(b) mostra o histograma da Figura 1(b), amostra após ataque químico. No histograma da imagem sem ataque o primeiro pico corresponde aos pixels mais escuros, incluindo a grafita, nosso objeto de estudo, mas também pixels escuros das bordas e de arranhões, que não são objetos de estudo e devem ser eliminados. O segundo pico corresponde ao fundo mais claro. O histograma da imagem da amostra após ataque químico não apresentou picos bem definidos.

**Figura 1** – Microestrutura de ferro fundido nodular. (a) antes do ataque químico, (b) após ataque químico.



**Figura 2** – Histograma de tons de cinza: (a) antes do ataque químico, (b) após ataque químico.

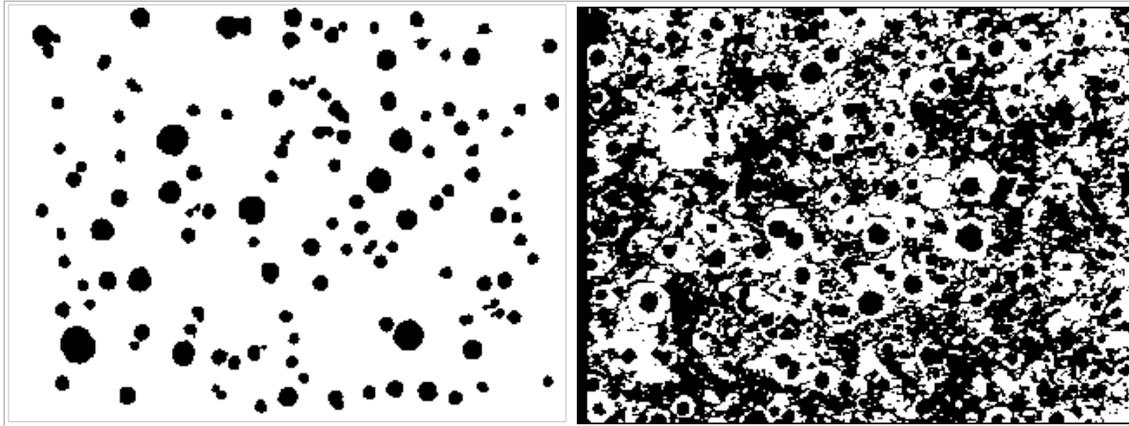


O programa de PADI analisa o histograma e determina um tom de limiar (*threshold*) para separar as duas faixas de intensidade. O resultado desta operação é uma imagem com apenas dois tons (0 = preto e 255 = branco), denominada imagem binária, conforme demonstrado na

Figura 3. Na (a) é possível observar alguns problemas de metalografia, como problema de iluminação e riscos na amostra sem ataque, e uma listra preta nas laterais de ambas as imagens, proveniente da condição do equipamento de captura. Estes problemas não influenciam na análise convencional, pois o operador tem discernimento do que é objeto de interesse, e consegue facilmente eliminar os ruídos. Porém, para análise por PADI estas variações podem influenciar, e muito, nos resultados.

Na Figura 3(a) a imagem foi processada para eliminação das laterais escuras indesejadas, que são defeitos na imagem proveniente do processo de aquisição. Foram eliminadas também nódulos de grafita muito pequenos, arranhões e nódulos que tocavam a borda. No caso da amostra após ataque químico, como não há picos bem definidos no histograma, não foi possível determinar um tom de limiar adequado, como pode ser visto na Figura 3 (b).

**Figura 3** - Resultado da segmentação da imagem da Figura 1(a), antes do ataque. (a) antes do ataque químico; (b) após ataque químico.



(b)

A Tabela 1 mostra o resultado da análise quantitativa da amostra antes do ataque químico. Após ataque químico não foi possível determinar devido à impossibilidade de determinar um tom de limiar adequado.

**Tabela 1 – Análise quantitativa da amostra antes e após ataque químico.**

Quantidade de nódulos <i>de grafita</i>	116
Fração de área de grafita [%]	10,515
<hr/>	
Fração de área de ferrita [%]	Não determinado
Fração de área de perlita [%]	Não determinado

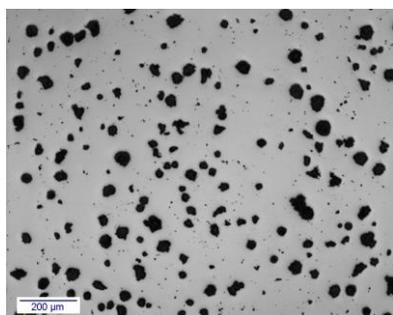
Para avaliar a influência da qualidade do sistema de aquisição de imagens digitais podem-se comparar as imagens e resultados de PADI obtidos acima com as imagens e resultados de PADI obtidos por Moraes e Paciornik (2005), que trabalharam com amostras da mesma empresa, preparadas metalograficamente de forma similar. As imagens do projeto de Moraes e Paciornik (2005) foram capturadas no laboratório de Microscopia Digital da PUC-Rio. As imagens foram capturadas num microscópio óptico Zeiss AxioPlan 2 ie, utilizando uma lente objetiva de 10X

e resolução digital de 1300 x 1030 pixels. O PADI foi realizado utilizando o programa KS 400, da Zeiss.

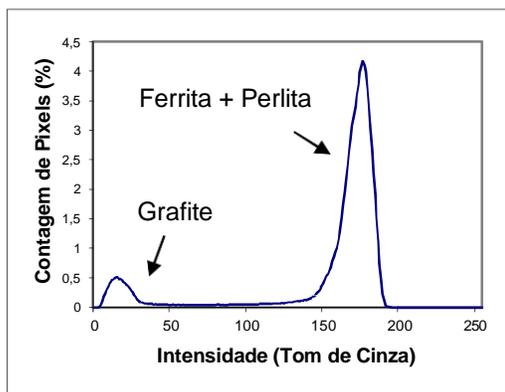
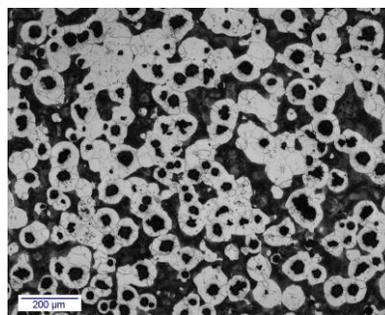
É possível verificar a diferença dos histogramas das imagens deste projeto e do projeto de Moraes e Paciornik (2005), Figura 4. O histograma da imagem da amostra sem ataque químico está similar. O histograma da imagem da amostra atacada, por sua vez, apresentou picos bem definidos, o que possibilitou a determinação de um limiar adequado. A

Figura 5 mostra as imagens da Figura 4 segmentadas, com qualidade bastante superior.

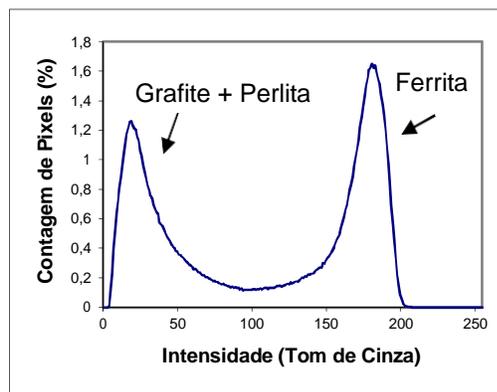
**Figura 4** - Microestrutura de Ferro Fundido. (a) antes e (b) após ataque químico. (c) Histograma da imagem em (a). (d) Histograma da imagem em (b). Fonte: Moraes; Paciornik (2005).



(b)

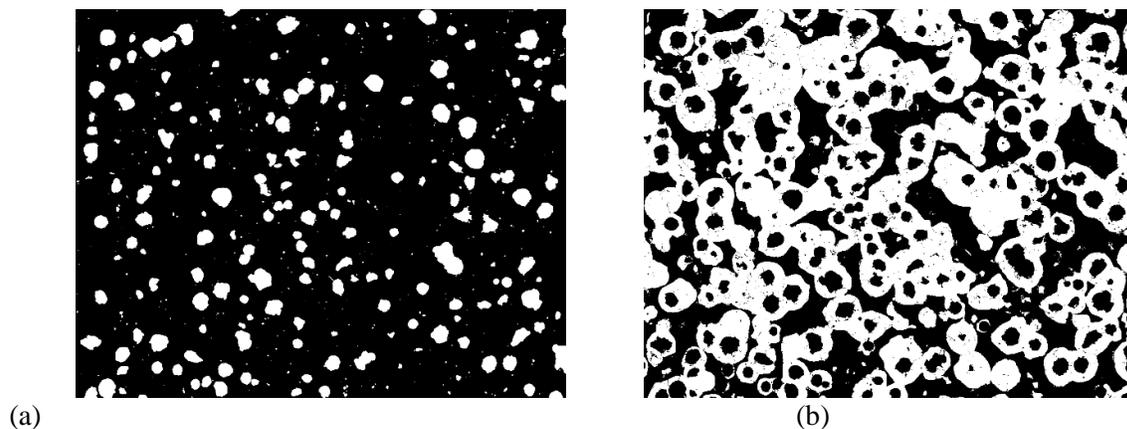


(c)



(d)

**Figura 5.** Resultado da segmentação das imagens da Figura 4. (a) Antes do ataque. (b) Após o ataque.  
Fonte: Moraes; Paciornik (2005).



## Conclusões

É possível automatizar o processo de análise metalográfica na empresa estudada aplicando PADI, mas não com a qualidade das imagens digitalizadas atualmente, pois os equipamentos são antigos, com baixa resolução. Além disso, produzem alguns defeitos na imagem digital que dificultam a análise por PADI. Para implantar um sistema automatizado de análise sugeriu-se a aquisição de equipamentos novos e mais avançados. Apesar da qualidade das imagens não ser adequada, o software ImageJ demonstrou-se totalmente eficaz para realização de PADI de ferro fundido.

## Referências

CALLISTER JR.; **Materials Science and Engineering: An Introduction**. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1991.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 6<sup>a</sup> ed. ABM. 1988.

GOMES, O. F. M. **Processamento e Análise de Imagens Aplicados à Caracterização Automática de Materiais**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciência de Materiais e Metalurgia da PUC/Rio, 2001.

GONZALEZ, R. C. & WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. Editora Edgard Blücher Ltda. 1ª Edição, 2000.

ISO (1975). **Cast iron - Designation of microstructure of graphite**. ISO 945:1975, International Standards Organization.

MORAES JR., J. M.; PACIORNIK, Sidnei. **Microscopia Digital Co-Localizada Aplicada à Caracterização de Ferro Fundido**. 60º Congresso Internacional da ABM. Belo Horizonte, MG. 2005.