



## INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE RESFRIAMENTO NA MORFOLOGIA DA GRAFITA ESFEROIDAL OBTIDA PELO PROCESSO CO<sub>2</sub><sup>1</sup>

Antônio Carlos de Araújo Santos<sup>2</sup>

Mauro Carlos Lopes de Souza<sup>3</sup>

Wilma Clemente de Lima Pinto<sup>4</sup>

Elaine Rodrigues<sup>5</sup>

### Resumo

Os materiais metálicos fundidos pelo processo CO<sub>2</sub> apresentam variáveis, que relacionadas entre si, influenciam diretamente na qualidade do fundido. Algumas variáveis podem ser controladas, como a porcentagem de silicato, a granulometria da areia, o tratamento metalúrgico, etc. Os ferros fundidos nodulares obtidos pelo processo CO<sub>2</sub> dependem de variáveis que determinam o comportamento do material em serviço como, taxa de resfriamento e composição química. Neste trabalho, estudou-se a influência da velocidade de resfriamento na morfologia (distribuição, tamanho e tipo) da grafita esferoidal. Para se determinar tal efeito simulou-se o mesmo em corpos de prova de espessura de 20, 25 e 30 mm, através de caracterização por tipo (I, II, IV, V, e VI), medida do tamanho dos nódulos e distribuição dos nódulos. Foram feitas análises química e de resistência mecânica. Constatou-se que das três espessuras analisadas o corpo de prova de 25 mm apresentou melhor comportamento, com formação de grande quantidade de pequenos nódulos, enquanto no centro formaram-se pequenas quantidades de nódulos maiores. Estes resultados estão de acordo com a literatura.

**Palavras-chave:** Solidificação; Fundição; Ferro fundido nodular; Morfologia.

### INFLUENCE OF COOLING RATE ON THE MORPHOLOGY OF SPHEROIDAL GRAPHITE OBTAINED BY THE PROCESS CO<sub>2</sub>

#### Abstract

Metallic materials melted by CO<sub>2</sub> process presents variables, which related to each other, directly influence the quality of the cast. Some variables can be controlled, as the percentage of silicate, like particle size of sand, metal processing, etc.. The nodular cast iron obtained by the process CO<sub>2</sub> depends on variables that determine the behavior of the material in service as the cooling rate and chemical composition. This work studied the influence of cooling rate on morphology (distribution, size and type) of spheroidal graphite. To determine if this effect was simulated in the same specimens of thickness 20, 25 and 30 mm, through characterization of type (I, II, IV, V and VI), measurement of nodule size and distribution of nodules. Chemical analysis and mechanical resistance test have been made. It was found that the three thicknesses examined the specimen of 25 mm showed a better behavior with formation of many small nodules, while the center formed small amount of larger nodules. These results are consistent with the literature.

**Key words:** Solidification; Casting; Ductile iron casting; Morphology.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, mestrando em Engenharia Mecânica na Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ - RJ.

<sup>3</sup> Engenheiro Químico e Professor Adjunto, DSc do Depto de Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ - RJ.

<sup>4</sup> Engenheira Química e Professora Adjunta, DSc do Curso de Tecnologia em Processos Metalúrgico Universidade do Estadual da Zona Oeste – UEZO – RJ.

<sup>5</sup> Professora de Língua Portuguesa Instrumental e Aplicada, MSc do Curso de Tecnologia em Processos Metalúrgico Universidade do Estadual da Zona Oeste – UEZO – RJ.



## 1 INTRODUÇÃO

Os ferros fundidos nodulares fabricados pelo processo CO<sub>2</sub> estão incluídos dentre os materiais metálicos mais estudados na atualidade. No entanto, para o estudo de sua solidificação devemos controlar algumas variáveis tais como: a velocidade de resfriamento, a composição química e o controle do processo assim como a interação conjunta das mesmas com o objetivo de conhecermos o comportamento mecânico destes materiais em serviço. Os ferros fundidos nodulares (*fofos nod's*, ou *fofo nod.*) vem sendo cada vez mais utilizados no âmbito industrial moderno. Sabe-se que a característica mais importante desses materiais está relacionada com sua resistência mecânica quando comparados a outros tipos de fofos (cinzento e maleável) e até mesmo, a certos aços carbono comuns (sem elementos de ligas). Isto se deve aos mesmos que apresentarem nas suas microestruturas a grafita na forma esferoidal que não interrompe a continuidade da matriz relativamente à grafita em veios.<sup>(1)</sup>

Nos *fofo nods*, de uma maneira geral, a morfologia da grafita que se forma a partir de banhos metálicos durante a solidificação pode ser alterada de diversas maneiras. A grafita cristaliza-se anisotropicamente (propriedades mecânicas variam com as direções cristalográficas), sendo seu crescimento bastante influenciado por pequenas quantidades de elementos químicos presentes no banho metálico e também por variáveis térmicas que intervêm no processo de solidificação.<sup>(2)</sup>

A grafita nodular nos fofos constitui-se de uma segunda fase nascida no metal líquido em solidificação. Seu aparecimento está sujeito à teoria da nucleação de fases, cujo modelo mais aceito é o de Becker.<sup>(3)</sup>

A nucleação na solidificação dos *fofos nod's* é heterogênea e se considera que a grafita é a fase do eutético mais difícil de nuclear.<sup>(4)</sup> São muitas as partículas que atuam como centros efetivos para nucleação dessa fase, tendo evidências de que a própria grafita, óxidos, sulfetos, carbetos (iônicos ou CSi), silicatos, bolhas de gases e nitretos aumentam poder nucleante do metal líquido, sendo, no entanto, a importância relativa de cada uma delas decorrente das condições particulares da operação empregada.<sup>(5-7)</sup>

Convém mencionar ainda que o grau de nucleação dos *fofos nod's* tem efeito sobre a distribuição dos elementos que se segregam para o líquido e sobre a morfologia da grafita, podendo-se obter através de inoculações mais eficientes, partículas de grafita de forma mais perfeita.<sup>(8-10)</sup>

A velocidade de resfriamento nos *fofo nod's* controla a microestrutura e as conseqüentes propriedades mecânicas. Desta forma o estudo da velocidade de resfriamento está relacionado com o número de nódulos e a matriz metálica. De forma generalizada, o tempo para difusão do carbono na região eutetóide estável é determinado pela velocidade de resfriamento lento dentro do forno, tratamento esse denominado de ferritização. A ferrita livre muitas vezes pode ser observada nos fofos esfriados lentamente, ou sob tratamentos isotérmicos a partir da decomposição da perlita inicialmente formada.<sup>(11)</sup>

Este trabalho tem por objetivo, especificamente, estudar a influência da velocidade de resfriamento na morfologia da grafita no fofo nod obtido pelo processo CO<sub>2</sub> e vazados em corpos de provas de espessuras 20 mm, 25 mm e 30 mm. Portanto, foi usada a norma ASTM A 247<sup>(12)</sup> para classificar a grafita em termos de tipo, distribuição e tamanho. No estudo da morfologia da grafita utilizou-se análises

metalográficas para distribuição e tamanho dos nódulos obtidos para diferentes velocidades de resfriamentos simuladas em corpos de prova de espessuras de 20 mm, 25 mm e 30 mm respectivamente. Os resultados foram comparados com os apresentados pela norma ASTM A 247-67, aprovada e revisada em 1998.

### 1.1 Solidificação dos Fofos Nod's

Define-se velocidade de solidificação como a medida da taxa de avanço da interface sólido/líquido durante a solidificação e medida em cm/s. Alguns valores típicos: para o crescimento de monocristais metálicos é de aproximadamente 1/1.000 (cm/s); enquanto que para o crescimento dendrítico inicial é de aproximadamente 1.000(cm/s) Do ponto de vista metalúrgico em todas as transformações de fases, a solidificação de metais e ligas metálicas se processa em duas etapas sucessivas de nucleação e crescimento da nova fase em meio a anterior.<sup>(1)</sup>

A nucleação na solidificação dos fofos nod's é heterogênea e se considera que a grafita é a fase do eutético mais difícil de nuclear.<sup>(13,14)</sup>

A grafita constitui-se de uma segunda fase do eutético nascida no metal durante a solidificação. De maneira geral, a medida em que a temperatura diminui, há a nucleação e crescimento de cristais ou grãos. Para metais puros e eutéticos a interface de solidificação costuma ser lisa com crescimento planar ou celular. Para materiais com composições não eutéticas, com grande intervalo de solidificação e nucleação independente, a interface de solidificação costuma ser difusa com crescimento dendrítico ou dendrítico com nucleação independente. A Figura 1 mostra as possíveis interfaces de solidificação para as ligas fundidas.

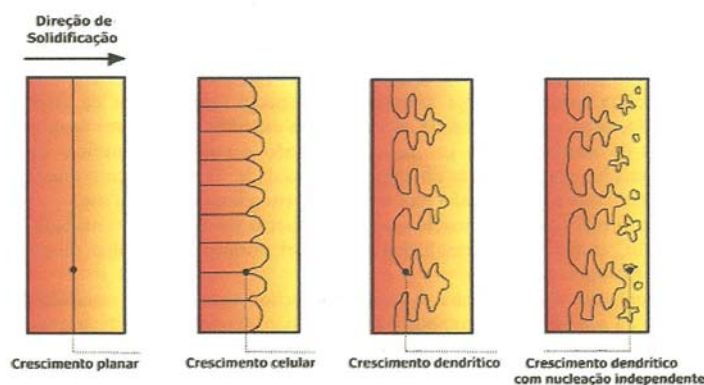
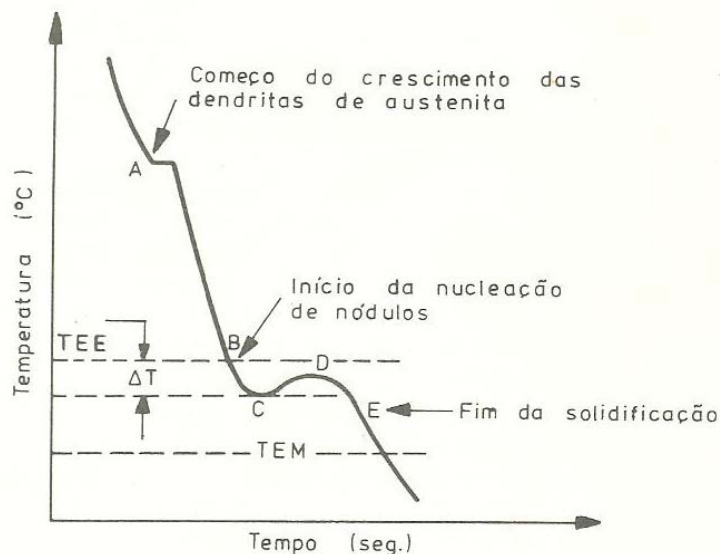


Figura 1 - Tipos de interfaces de solidificação.<sup>(15)</sup>

Mampaey<sup>(15)</sup> em seu estudo através de análise quantitativa mostra que durante o estágio inicial de solidificação, existe uma maior precipitação da grafita nos nodulares do que nos cinzento. Segundo seus estudos a solidificação do *fofo nod* eutético que envolve a formação de dendritas de austenita e nódulos de grafita ou esferóides. A interação entre o crescimento da austenita com os nódulos origina unidades de solidificação cujas dendritas da austenita contém muitos nódulos de grafita, conhecido como “modelo multinodular”.

As ligas hipoeutéticas, eutéticas e hipereutéticas diferem-se quanto a seqüência de solidificação para os *fofos nod's*. Nas hipoeutéticas a solidificação inicialmente

ocorre com formação de dendritas da austenita relativamente pobres em carbono e à medida que a temperatura diminui, ocorre o crescimento da austenita com conseqüente expulsão do carbono e silício para o líquido remanescente da solidificação. O líquido residual saturado em carbono e silício começa a formar nódulos abaixo da temperatura do eutético estável. Quando se obtém a curva de análise térmica assistida por computador, a mesma, exibe um patamar que depende das condições de nucleação e resfriamento do banho.<sup>(16)</sup> A Figura 2 mostra uma curva típica de resfriamento de um fofo nod hipoeutético.



**Figura 2** - Curva de resfriamento de um fofo nod hipoeutético.<sup>(17)</sup>

Onde:

- TEE → temperatura do eutético estável;
- $\Delta T$  → superesfriamento térmico do banho;
- TEM → temperatura do eutético metaestável;
- B → início da nucleação da grafita esferoidal;
- Trecho CD → patamar crescente também denominado de recalescência; (temperatura de recalescência é a diferença das temperaturas entre os pontos D e C)
- E → Material totalmente solidificado

Na solidificação dos fofos hipereutéticos a grafita é fase primária, resultando em uma estrutura que difere das anteriores. A grafita precipita a partir do banho, abaixo da temperatura *liquidus* hipereutética e à medida que a temperatura diminui tem sua composição aproximada da eutética. Após certo grau de superesfriamento, a reação eutética forma mais nódulos de grafita, os quais posteriormente serão envoltos em austenita. Uma diferença observada entre os nódulos de grafita em ligas hipereutéticas com relação aos obtidos em ligas eutéticas é que nas hipereutéticas têm-se nódulos de tamanhos bastante diferentes. Os nódulos maiores são os correspondentes aos que se formaram entre as temperaturas de *liquidus* hipereutética e a temperatura do eutético,

ao passo que os nódulos menores são provenientes da reação eutética.<sup>(18)</sup> A Figura 3 ilustra uma curva típica de resfriamento de um fofo nod hipereutético.

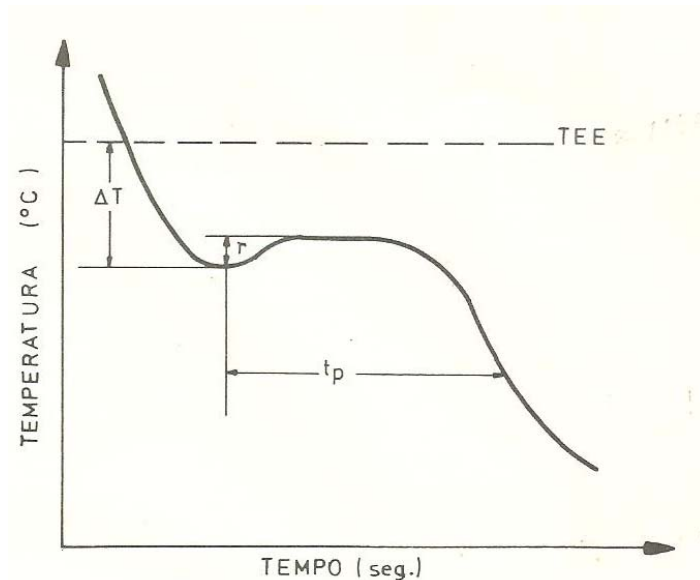


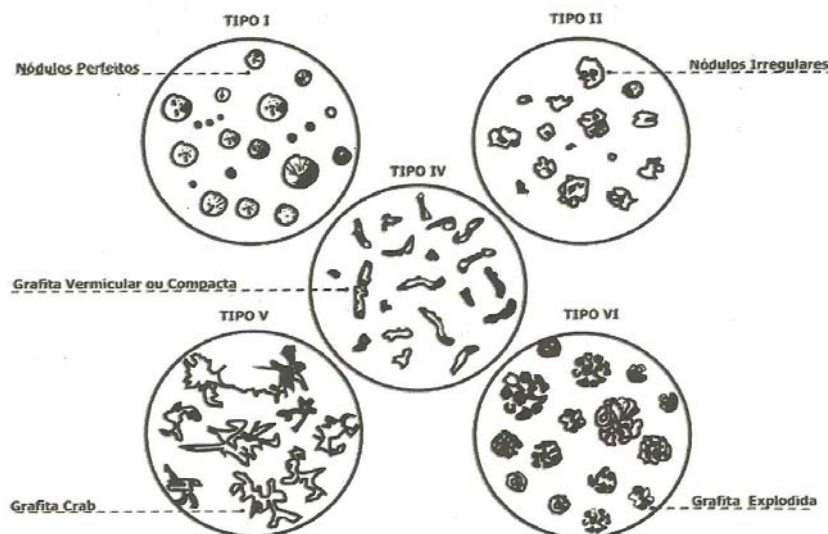
Figura 3 - Curva típica de resfriamento de um fofo nod hipereutético.<sup>(18)</sup>

Onde:

- $T_p$  → tempo de reação eutética, tomando como referência o início da recalescência e o ponto de inflexão no final da curva;
- $r$  → superesfriamento relativo a recalescência;
- $\Delta T$  → superesfriamento térmico (diferença entre a temperatura do eutético estável, TEE e a temperatura de início da solidificação).

## 1.2 Forma, Distribuição e Tamanho da Grafita

Entre as formas mais freqüentes encontradas em fofos nod's destacam-se: nódulos perfeitos (tipo I), nódulos irregulares (tipo II) e partículas de grafita vermicular (tipo IV) podendo ocorrer também, grafita crab (tipo V) e grafita explodida (tipo VI) e ainda diversas morfologias degeneradas intermediárias entre esferoidal e lamelar, segundo ASTM A247<sup>(12)</sup> (Figura 4).



**Figura 4** - Esquema da forma da grafita em fofo nod conforme a ASTM A247.<sup>(12)</sup>

A morfologia da grafita é determinada pelo grau de nodularidade que mede o percentual de partículas de grafita esférica tipo I e tipo II segundo ASTM.

A nodularidade é dada pela equação (1), considerando os nódulos perfeitos e nódulos irregulares maiores que 10 µm. Para garantir a confiabilidade nos resultados da análise é recomendado uma área mínima de análise de 4 mm<sup>2</sup>.

$$\text{Nodularidade} = \frac{\sum A \text{ nódulos perfeitos} + 0,5 \sum A \text{ nódulos irregulares}}{\sum A \text{ partículas}} \times 100 \quad (1)$$

Doubrava<sup>(19)</sup> mostra em seu estudo um resumo sobre as variáveis que controlam a nodularidade dos *fofos nod's*, dentre as quais podemos destacar as variáveis de processo, quanto à forma e dimensões da peça fundida, quanto à solidificação e quanto à microestrutura. Nas variáveis de processo de fabricação temos: o Magnésio efetivo que é definido como Magnésio excedente do Magnésio residual sobre o qual se combina estequiometricamente com o Enxofre residual para formar sulfeto de magnésio favorecendo a formação de nódulos perfeitos.

A Tabela 1 mostra que se aumentarmos o número de nódulos de 100 nódulos/mm<sup>2</sup> para 200 nódulos/mm<sup>2</sup>, o espaçamento entre nódulos ou a distância para a difusão do carbono é reduzida em 50% (de 0,16 mm para 0,08 mm). Contudo, com o aumento do número de nódulos de 600 para 700 nódulos/mm<sup>2</sup>, o espaçamento entre nódulos é reduzido em aproximadamente 13% (de 0,0375 mm para 0,0325 mm).

**Tabela 1** - Distância entre nódulos de grafita (ASTM A 247)

Nódulo	Fração em Volume Nódulo (f)	Média dos Raios do Nódulo - r (mm)	Distância entre Nódulos - λ (mm)
99	0,125	0,0635	0,16
207	0,119	0,0317	0,08
616	0,147	0,0159	0,0375
706	0,161	0,0159	0,0325

O tamanho dos nódulos tem uma grande influência sobre algumas propriedades mecânicas dos *fofos*. Com frequência, mais de um tamanho pode ser notado na microestrutura dos *fofos nod's*. O tamanho da grafita é alterado principalmente pela taxa de resfriamento, pelo teor de carbono e por uma inoculação tardia. A Tabela 2 nos mostra o tamanho da grafita nodular segundo ASTM.

**Tabela 2** - Tamanho de grafita segundo ASTM

Grafita: Tamanho	ASTM A 247 Máx.(mm)	VGD P441
8	0,01	0,01 – 0,015
7	0,02	0,015 – 0,030
6	0,04	0,030 – 0,060
5	0,08	0,060 – 0,12
4	0,16	0,12 – 0,25
3	0,32	0,25 – 0,50
2	0,54	0,50 – 1,0
1	1,28	> 1.0

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O processo CO<sub>2</sub>/ silicato de sódio é um processo industrial de preparação de moldes em areias silicosas sem argila para fundição de peças metálicas. O processo envolve uma mistura de areia com silicato de sódio (até 4,5% de silicato de sódio sobre o peso de areia). A mistura foi preparada, normalmente, em um misturador de galgas e utilizada em moldes e machos que posteriormente foram endurecidos pela ação da alta higroscopicidade do gás carbônico pela água do silicato (silicato hidratado).

O processo de ligação, isto é, endurecimento da areia, envolve a formação de carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) e sílica-gel em uma combinação de três processos:

- precipitação da sílica-gel;  

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SiO}_2 ;$$
- produção do endurecimento devido à alteração na relação Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> do silicato;
- secagem do silicato.

Os corpos de provas (CP), tipo bloco em Y ASTM A536, para ensaio de tração foram moldados seguindo rigorosamente o processo CO<sub>2</sub>/ silicato de sódio. Foram usados aproximadamente 20 Kg de mistura, proveniente de uma batelada do misturador com capacidade para 150 Kg de mistura. Procedeu-se à fundição do mesmo, tendo sido o metal preparado, em forno elétrico de indução de média frequência (1.200 Hz) a cadinho Inductotherm (fornecedor do forno) com capacidade para 1.500 Kg.

A técnica de inoculação empregada foi a de inoculação na própria panela de vazamento utilizando-se nessa operação 0,6% de Si, na forma de Fe-Si (75%) com cerca de 2% de Ba, após a nodularização com Fe-Si-Mg (8% de Mg).

As amostras para os exames metalográficos foram retiradas do bloco em Y nas espessuras de 20 mm, 25 mm, e 30 mm. As amostras foram preparadas seguindo os procedimentos abaixo:

- lixamento mecânico com lixadeira rotativa Buelher (fornecedor), marca Ecomet 4000 obedecendo a sequência de lixas granas 120, 220, 320, 400, 500, 600 e 1500 todas da marca 3M da Norton;
- polimento com pasta de diamante em pano (camurça) da marca Struers.

Os exames metalográficos para determinação qualitativa da morfologia da grafita presente na microestrutura foram feitos sem ataque através da avaliação visual realizada em três campos de cada espessura (extremidade, meio e centro) no microscópio eletrônico de varredura (MEV) marca JEOL-JSM-6490LV.

Foram ainda realizados e certificados pela empresa fornecedora do corpo de prova os resultados da composição química base final, bem como, dos ensaios mecânicos para determinação do limite de resistência à tração, do limite de escoamento e do alongamento percentual.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química (centesimal) final ficou próxima do eutético conforme a Tabela 3:

**Tabela 3** – Composição química do corpo de prova

ELEMENTOS	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu
(%)	3,68	2,25	0,84	0,077	0,006	0,01	0,001	0,01	0,007	0,58

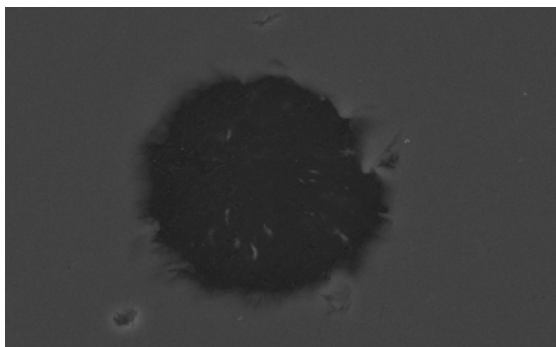
O resultado calculado da quantidade de carbono equivalente (C.E) foi de aproximadamente 4,45.

Foram realizados ensaios mecânicos de resistência à tração, limite de escoamento. O alongamento percentual foi calculado e os seguintes resultados foram encontrados:

- Resistência à tração ( $\sigma$ ): 819,0 MPa (83,52Kg/mm<sup>2</sup>);
- Limite de escoamento ( $\sigma_e$ ): 523,35 MPa (53,37 Kg/mm<sup>2</sup>);
- Alongamento percentual ( $\epsilon$ ): 4,60 (em 2%).

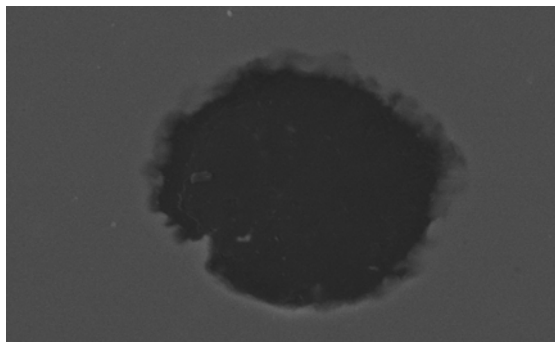
Relativamente aos exames metalográficos (sem ataque) analisou-se os corpos de prova no MEV em cada uma das espessuras das amostras utilizadas no núcleo da amostra (centro).

Para as medidas dos tamanhos dos nódulos de grafita foram analisados os maiores nódulos por campo conforme as Figuras 5 (CP20), 6 (CP25) e 7 (CP30).

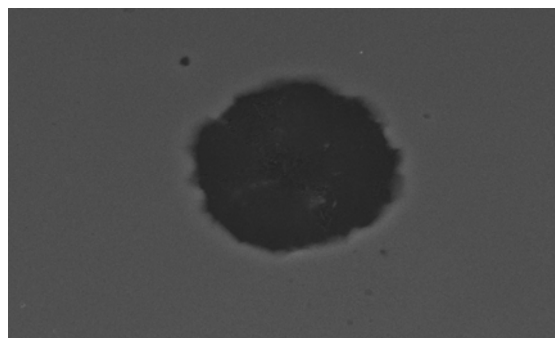


**Figura 5** – Micrografia para medida do tamanho do nódulo no centro do CP20.



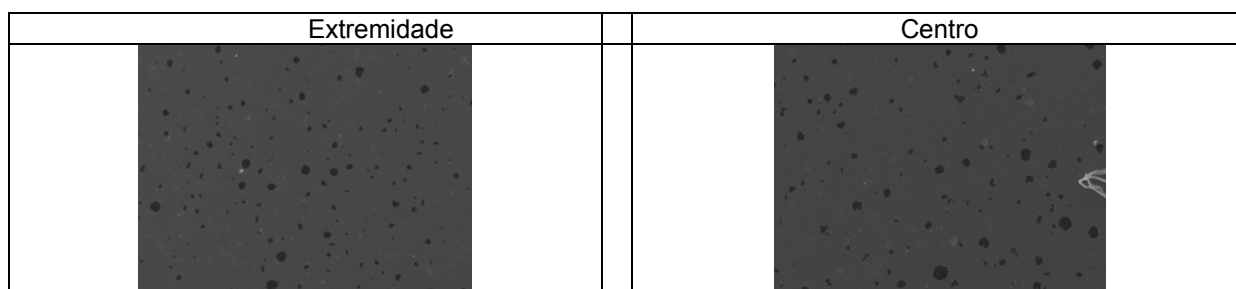


**Figura 6** – Micrografia para medida do tamanho do nódulo no centro do CP25.

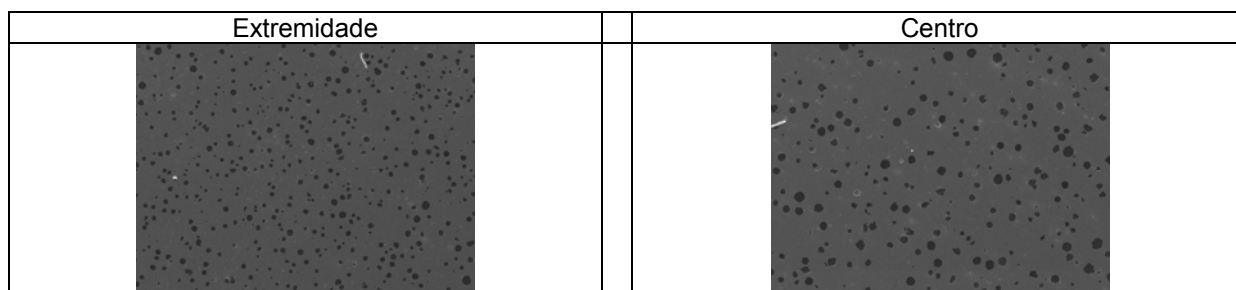


**Figura 7** – Micrografia para medida do tamanho do nódulo no centro do CP30.

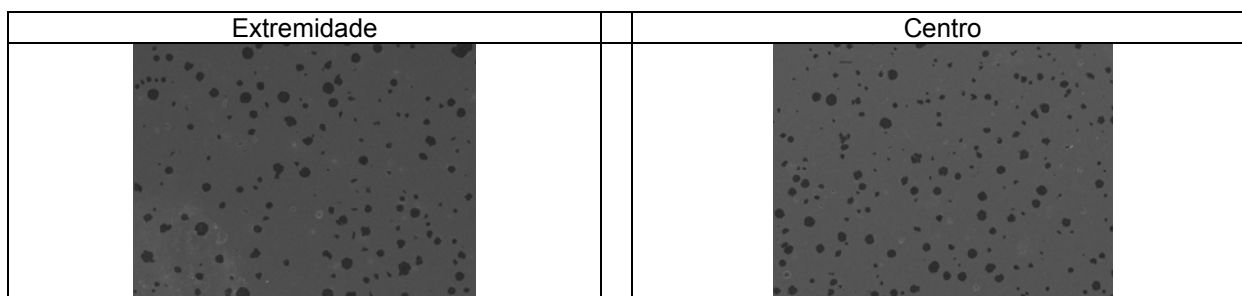
As Figuras 8, 9 e 10 mostram as contagens e tipo de nódulos de grafita dos corpos de prova (CP20), (CP25) e (CP30) respectivamente, na extremidade e no centro do corpo de prova.



**Figura 8** - Micrografias para contagem e tipos de nódulos (CP20).



**Figura 9** - Micrografias para contagem e tipos de nódulos (CP25).



**Figura 10** - Micrografias para contagem e tipos de nódulos (CP30).

Plotando-se os valores de carbono e silício obtidos na análise química (composição) e comparando-se com os valores da literatura<sup>(20)</sup> para uma faixa preferencial de carbono equivalente e teor de silício para os fofos nod's verificou-se que os resultados encontrados para esses elementos ficaram dentro dessa faixa de controle desses elementos.

Considerando-se que o processo de inoculação praticado pelo fundidor não é o mais recomendado pela literatura, mas levando-se em conta que, nas amostras estudadas foram os maiores tamanhos visualizados no MEV, dentro da classificação da norma ASTM,<sup>(12)</sup> estes se comparam aos do tipo 5, 6 e 7 (menores tamanhos), conclui-se que houve êxito no processo pois o poder grafitizante do inoculante usado (Fe-Si) 75%, foi efetivo na formação do número de células eutéticas por unidade de área, e isto se verifica principalmente no CP25, espessura em que houve ruptura do corpo de prova no ensaio de tração.

As Tabelas 4 e 5 referem-se aos valores encontrados para os tamanhos dos nódulos (Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 medidos pelo MEV) e pela contagem e tipos dos nódulos de grafita encontrados nas figuras 4.4, 4.5 e 4.6.

**Tabela 4** - Tamanho dos nódulos em mm e tipos (ASTM)

CP	Extremidade	Tipo	Meio	Tipo	Centro	Tipo
20	0,057	6	0,057	6	0,037	6
25	0,027	7	0,042	6	0,060	5
30	0,061	5	0,026	7	0,055	6

**Tabela 5** - Contagem do número de nódulos (ASTM)

CP	Extremidade	Meio	Centro
20	133	84	82
25	465	387	224
30	139	355	180

## 4 CONCLUSÕES

Conforme a norma ASTM A536-84<sup>(21)</sup> o *fofo nod* fornecido pela empresa foi certificado como de alta resistência classe 100-70-03 (equivalente ao DIN GGG 70);

De acordo com sua composição e resistência o material fornecido pode ser classificado como um fofo nod hipereutético; porque o C.E = 4,45.



Não foram encontrados nódulos tipos ASTM IV (grafita vermicular), tipo V (grafita crab) e tipo VI (grafita explodida) o que vem a comprovar excelente esfericidade dos nódulos não ocorrendo degenerescência da grafita esferoidal.

Quanto a distribuição e tamanho dos nódulos, o CP25 foi o que melhor se aproximou do relatado pela literatura, isto é ocorreu uma diminuição no número de nódulos no sentido extremidade → centro com conseqüente aumento no tamanho dos mesmos.

## REFERÊNCIAS

- 1 CAMPOS FILHO, M.P. de. , DAVIES, G.J.; Solidificação e Fundição de Metais e suas Ligas. LTC/EDUP, p.11-13, 1978.
- 2 SADOSHA, J.R. ; GRUZLESKI, J.E. The Metallurgy of Cast Iron, Georgi Publ. Co. ,1975, p.443-459.
- 3 BECKER, R.Z. Metalkunde. Vol.29, p.245, 1937.
- 4 MUZUNDAR, K.M. ; WALLANCE, J.F. Transations of the American Foundrymen's Society. Vol.81, p.412-423, 1973.
- 5 WEISER,P.F; BATES, C.E; WALLACE, J.F. CLEVELAND, Malleable Founder's Soc., p. 81, 1967.
- 6 CHAVES FILHO, L.M; PIESKE,A; CASTRO, C.P. Avaliação do Comportamento de Alguns Inoculantes para Ferros Fundidos Cinzentos. Joinville, Soc.Educ.Tupy, p.167, 1975.
- 7 SANTOS, A.B.S.; CASTELLO BRANCO, C.H. Metalurgia dos Ferros Fundidos Cinzentos e Nodulares. São Paulo, IPT (PUBLIC.1100), p.241, 1977.
- 8 RESMAN, R.W. ; LOPER JR. , C.R. Transations of the American Foundrymen's Society. Vol.75,p.1-9, 1967.
- 9 SANTOS, A.B.S., PIESKE, A.; Aspectos Relativos a Morfologia da Grafita em Seções Espessas de Ferro Fundido Nodular. In: Congr. Ilafe de Fundición de Fierro y Acero, Rio de Janeiro, Nov. 1976, p.131-143.
- 10 DAWSON, J.P. The Future Role Of Inoculation Technology. In: Bcira, Foundry Technology for the 80's. Birmingham, Abr. 1979, p.3.1-3.18.
- 11 ASKELAND, D.R.; GUPTA, S.S. EFFECT OF NODULE COUNT AND COOLING RATE ON THE MATRIZ OF NODULAR CAST IRON. Transations of the American Foundrymen's Society. Vol. 83, p.313-320, 1975.
- 12 ASTM A247. Standard Test Method for Evaluating The Microstructure of Graphite in Iron Casting, 1998.
- 13 MORE, A. Transations of the American Foundrymen's Society. Vol.81, p.268-277, 1973.
- 14 MUZUNDAR, K.M.; WALLANCE, J.F.; Transations of the American Foundrymen's Society. Vol.81, p.412-423, 1973.
- 15 MAMPAEY, F.; Quantitative Description of Solidification Morphology of Lamellar and Espheroidal Graphite Cast Iron. Transations of the American Foundrymen's Society. Vol. 107, p.425-431, 1999.
- 16 ABREU, J.M.S.; Emprego da Análise Térmica Assistida por Computador no Estudo da Solidificação dos Ferros Fundidos Nodulares. Dissertação Apresentada Para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Metalúrgica na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Portugal). Orientador Prof. Dr Silva Ribeiro. Fev. 2010.
- 17 KRAUSE, V.; FILHO, L.C.M. ; SANTOS, A.B. et all. Alternativas de Inoculação para Evitar a Formação de Carbonetos Eutéticos. Metalurgia-ABM, Vol.37, n.286, p.507-515. Set 1981
- 18 DURAN,P.V et all. Metalurgia-ABM, 35(26), p.839-844, Dez. 1979.

- 19 DOUBRAVA, J.H. ; CARTER JR. ; S.F ; WALLACE, J.F.; The Influence of Processing Variables on the Matriz Estructura and Nodularity of Ductile Iron. Transations of the American Foundrymen's Society. Vol.89, p.229-290, 19
- 20 HASSE,S., Guss und Gefügefehler.Berlin,Schön,p.209,1999.
- 21 ASTM 536-84(2009).Standard Specification for ductile iron casting.