



METALOGRAFIA QUANTITATIVA AUTOMÁTICA. ALGUMAS APLICAÇÕES

**Eduardo Jorge Branco Vieira Barcelos, Francisco Ambrozio Filho e
Ricardo Codazzi Cunha**

**PUBLICAÇÃO IEA 449
CMN 67**

DEZEMBRO/1976

METALOGRAFIA QUANTITATIVA AUTOMÁTICA. ALGUMAS APLICAÇÕES

**Eduardo Jorge Branco Vieira Barcelos, Francisco Ambrozio Filho e
Ricardo Codazzi Cunha**

**COORDENADORIA DE METALURGIA NUCLEAR
(CMN)**

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
SÃO PAULO - BRASIL**

APROVADO PARA PUBLICAÇÃO EM MAIO/1976

CONSELHO DELIBERATIVO

Eng.^o Hálcio Modesto da Costa
Eng.^o Ivano Humbert Marchesi
Prof. Admar Cervellini
Prof. Sérgio Mascarenhas de Oliveira
Dr. Klaus Reinach
Dr. Roberto D'Utra Vaz

SUPERINTENDENTE

Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11.049 (Pinheiros)
Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira"
SÃO PAULO - BRASIL

NOTA: Este trabalho foi conferido pelo autor depois de composto e sua redação está conforme o original, sem qualquer correção ou mudança.

METALOGRAFIA QUANTITATIVA AUTOMÁTICA. ALGUMAS APLICAÇÕES⁽¹⁾

Eduardo Jorge Branco Vieira Barcelos⁽²⁾, Francisco Ambrozio Filho⁽³⁾ e
Ricardo Codazzi Cunha⁽⁴⁾

RESUMO

O trabalho apresenta determinações de parâmetros metalográficos com o sistema de análise automática de imagens, modelo Micro-Videomat. O princípio deste sistema é revisto resumidamente.

Os parâmetros que serão determinados são: porcentagem volumétrica de perlita em ferro fundido nodular, porosidade e tamanho médio de grão em pastilhas de UO_2 sinterizadas de alta densidade e tamanho de grão em aço ferrítico.

Apresenta-se a técnica utilizada e os resultados obtidos para estas matérias. Para o ferro fundido a técnica escolhida é determinada pela pequena diferença de tonalidades apresentadas pela grafita e pela perlita. Os resultados obtidos para o aço ferrítico são comparados com os do método visual. Através desta comparação é que se define a técnica de determinação para as pastilhas de UO_2 . Os métodos visuais empregados são: contagem de pontos sistemáticos (grade) para medida de volume e intersecções utilizando circunferência de raio conhecido, para tamanho médio de grão.

1 - INTRODUÇÃO

O conhecimento da microestrutura de metais e ligas é importante para o controle e desenvolvimento de suas propriedades. A metalografia quantitativa com suas teorias e técnicas^(1,2,3) estabelece um meio de quantificar essas microestruturas. Neste campo as medidas são estatísticas, e necessitam de um número relativamente grande de medidas para uma boa precisão de análise. Normalmente os métodos utilizados no laboratório são bastante lentos e cansativos. Atualmente existem várias possibilidades de análise automática da imagem, obtendo-se os valores dos parâmetros com maior precisão e rapidez. Alguns trabalhos tem sido publicados, mostrando a utilização de diferentes equipamentos^(1,8,7). Existem vários modelos comerciais que basicamente tem o mesmo princípio, variando um pouco seus recursos, dependendo do produtor e do grau de aperfeiçoamento do sistema.

A Coordenadoria de Metalurgia Nuclear do Instituto de Energia Atômica possui um Micro-Videomat Zeiss, o qual é utilizado em pesquisa e desenvolvimento de materiais metálicos e cerâmicos. A Figura 1 apresenta o equipamento existente. O sistema analisador de imagens está sendo utilizado em conjunto com um microscópio ótico, podendo alternativamente ser utilizado com

-
- (1) Contribuição técnica apresentada ao XXXI Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais, Belo Horizonte, MG
 - (2) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; Coordenadoria de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo, SP
 - (3) Membro da ABM; Mestre em Engenharia (Engenharia Metalúrgica), Coordenadoria de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo, SP
 - (4) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; Coordenadoria de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo, SP

microscópio eletrônico ou outro equipamento fornecedor de imagens. As partes da imagem que se deseja analisar são selecionadas de acordo com sua luminosidade, o que é feito com auxílio de uma câmara de TV, e a medida é efetuada de acordo com programas predeterminados. Um computador Wang comanda automaticamente as medidas a serem realizadas, efetua os cálculos necessários e os resultados são impressos por uma máquina de escrever elétrica.



Figura 1 — Fotografia do sistema de análise de imagens e acessórios.

O presente trabalho procura mostrar algumas possibilidades e limitações deste sistema, bem como estabelecer algumas regras gerais na técnica de operação, baseado na experiência de utilização. São apresentados resultados de determinação de frações volumétricas e de tamanho de grão efetuadas com este sistema e comparados com os obtidos por outras técnicas de metalografia quantitativa. Por meio destes resultados são estabelecidos procedimentos para determinação dos parâmetros escolhidos nos materiais utilizados.

2 — O SISTEMA DE ANÁLISE DE IMAGENS

2.1 — Princípio de Operação

O princípio de operação do equipamento é apresentado aqui de forma resumida, com as principais funções, pois já foi descrito em detalhes em publicações dos fabricantes^(6,3). A Figura 2 mostra esquematicamente o sistema existente. O equipamento básico para analisar as imagens produzidas no microscópio ótico é constituído por: câmara de televisão, monitor de TV e sistema de controle com detetor, apresentados neste esquema. Os outros aparelhos mostrados são acessórios para automatização.

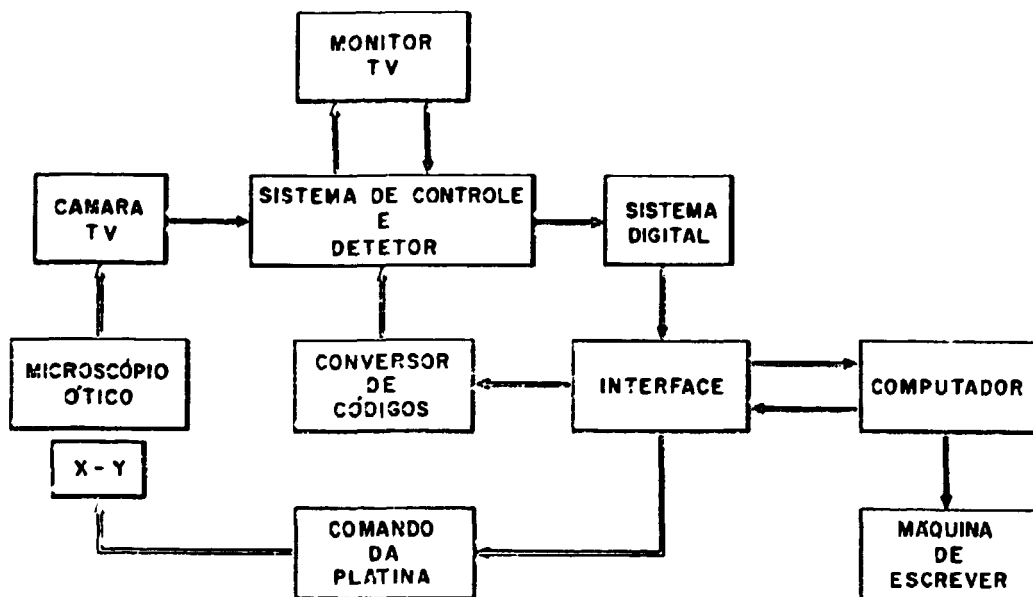


Figura 2 - Esquema simplificado do sistema de análise de imagens.

A imagem do microscópio ótico é captada pela câmara de TV e transmitida para o monitor de TV que a explora linha por linha. Devido ao aumento eletrônico, que é cerca de 20 X, consegue-se ampliações de até 4.000 X no vídeo. As várias tonalidades existentes na imagem são transformadas em variações de voltagem equivalentes. Estes sinais elétricos é que são selecionados numa unidade detetora e um computador analógico fornece os resultados de acordo com as possibilidades de medida existentes.

A seleção é realizada por meio de discriminadores (potenciômetros), um de controle de tonalidade e outro de dimensões. Para facilitar o entendimento, suponha-se uma amostra composta de áreas com diferentes luminosidades, como na Figura 3. Nesta figura foram indicados os valores correspondentes de tensão das diversas tonalidades para uma determinada linha de televisão. Ajusta-se a posição do discriminador de tonalidades num valor determinado de acordo com o que se deseja, de forma tal que todas as tonalidades mais escuras do que este valor sejam discriminadas. Estas partes discriminadas podem ser selecionadas pela sua extensão horizontal pelo discriminador de dimensões. Com ajuste deste controle em determinada posição, somente são selecionadas partes discriminadas cuja dimensão na horizontal sejam maiores do que este determinado valor. Na Figura 3 são mostrados exemplos de seleção de sinais.

As possibilidades de medida existentes são: a) medida de área, b) medida do número de partículas e c) medida do número de intersecções das linhas de varredura com o contorno do objeto.

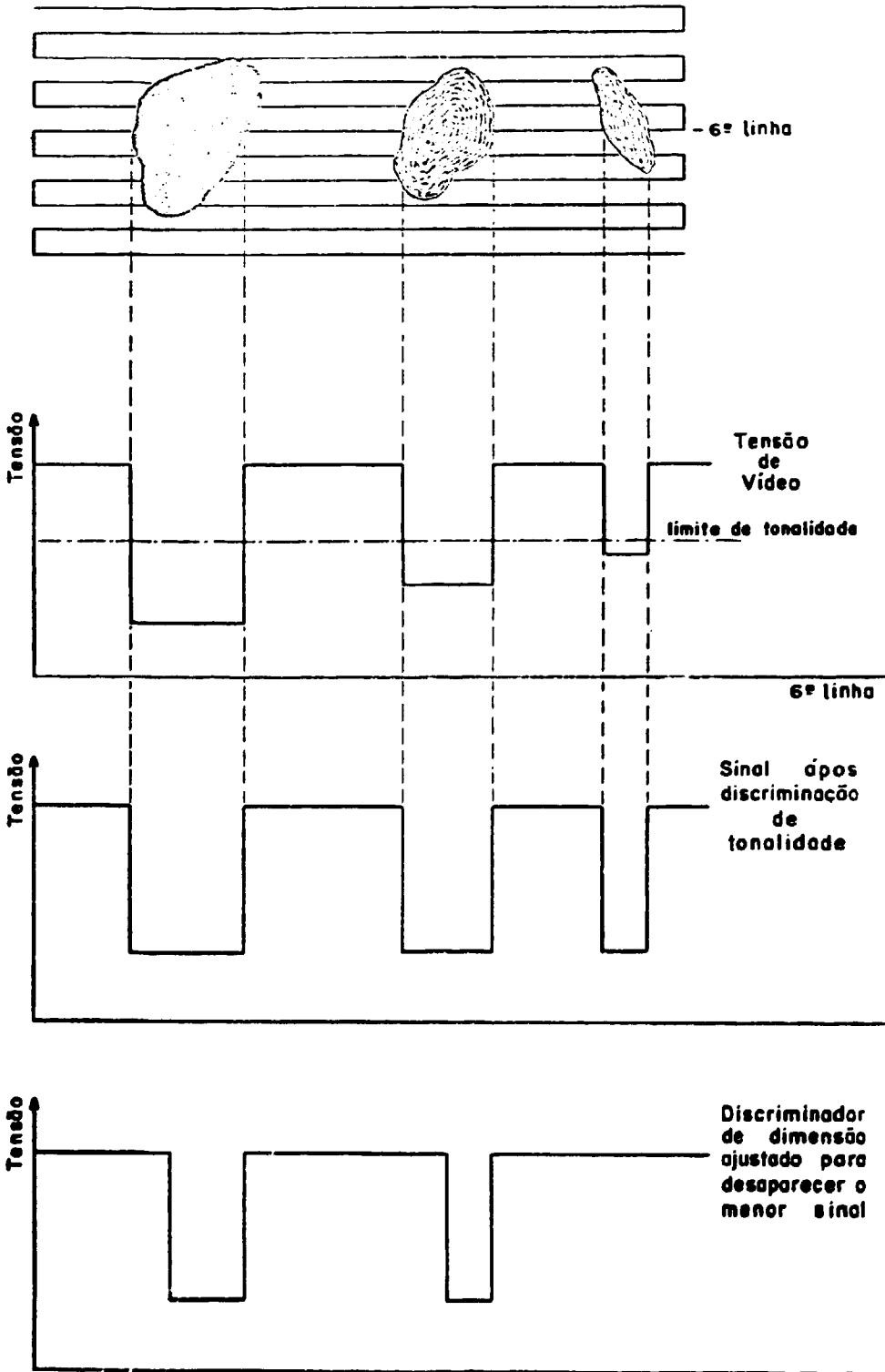


Figura 3 - Princípio de funcionamento dos discriminadores de tonalidade e de dimensão.

- a) **Medida de Área:** Nesta posição as partes discriminadas aparecerão no monitor de televisão claras num fundo escuro. A integração total dos sinais discriminados fornece a medida correspondente as áreas selecionadas da amostra em relação a uma área de referência de 1 000. Com a calibração da área de referência pode-se obter os valores absolutos das áreas medidas.
- b) **Medida do Numero de Partículas:** Para o cálculo do número de partículas, o detetor dispõe sempre do sinal emitido por duas linhas sucessivas de televisão. Assim quando uma linha contiver o sinal e a seguinte não, atingiu-se o ponto inferior da partícula, resultando um impulso para sua contagem. No entanto, se uma partícula tem vários pontos inferiores, obtém-se vários impulsos para a mesma. Para evitar isto, existe um controle que produz um impulso negativo para os pontos superiores, quando existem vários pontos inferiores. Assim cada partícula produz uma única contagem independente de sua forma. Nesta posição de medida as partículas contadas são marcadas no monitor de televisão por um segmento de linha claro à direita do ponto inferior.
- c) **Medida do Numero de Intersecções:** Nesta posição de medida são emitidos impulsos de contagem quando as linhas de televisão interceptam os contornos dos objetos discriminados. O impulso só é emitido quando se tem um contorno com passagem de área clara para escura. Quando se tem o inverso não há emissão de impulso. As intersecções contadas são marcadas no monitor de televisão por pontos claros juntos as intersecções.

As medidas efetuadas com o sistema básico descrito são automatizadas pelos dispositivos e acessórios apresentados nas Figuras 1 e 2. O computador pode ser programado para comandar as seguintes funções das demais unidades: deslocamento da platina do microscópio de acordo com programa desejado de observação da amostra, tipo de medida do Micro-Videomat, posição dos potenciômetros de discriminação, recepção e processamento dos valores medidos, impressão dos resultados na máquina de escrever. Dispõe-se de programas para obtenção de proporção volumétrica de fases, número de partículas, tamanho médio de partículas, classificação de partículas e tamanho de grão.

2.2 – Observações quanto a fatores de Operação

Neste item são apresentados alguns fatores que influem no resultado da medida. A apresentação é de caráter geral, com observações que resultaram da utilização do equipamento. Mostra-se também alguns ajustes necessários de dispositivos existentes no sistema que ainda não foram mencionados. Nas aplicações específicas de cada material serão discutidos alguns destes fatores. Dentre esses fatores destacam-se: focalização de imagens, variação de tonalidade, ajuste de iluminação, ajuste de discriminação e resolução.

Focalização de imagem: Pode ser feita na ocular do microscópio ou diretamente na televisão. Ambos os focos devem coincidir, sendo contudo mais prático focalizar na televisão. Ocorre com certa frequência o desajuste do foco do monitor de televisão, não se conseguindo a focalização da imagem. Quando isto ocorre, os controles deste foco devem ser ajustados. Durante a movimentação da platina do microscópio a imagem deve ser mantida em foco. Notou-se que isto não é conseguido durante a varredura da amostra com as objetivas de maior resolução. Utilizou-se objetivas de X4, X8, X16, X40 e X100 óleo. Verificou-se que, com certo cuidado consegue-se manter o foco durante a movimentação até com a objetiva X40, mas não sendo isso possível com a objetiva X100 óleo. Neste caso, a programação deve ser realizada para um determinado campo, quando é ajustado o foco e efetuada a medida. Esta operação é repetida para outros campos necessários para se obter a representatividade da amostra. O processo é mais lento do que se a varredura da amostra fosse automática, mas deve ser utilizada quando houver a necessidade de uso desta objetiva.

Variação da tonalidade: É possível distinguir na imagem de 10 até 30 tonalidades de cinza⁽³⁾. Esta é uma limitação do sistema, pois com técnicas visuais pode-se distinguir diferenças de tonalidades

bastante pequenas. Para que se possa utilizar o sistema para efetuar medidas numa amostra, as diferenças de tonalidades existentes devem ser suficientes para serem separadas na discriminação. A técnica de preparação da amostra deve ser dirigida para tal fim, evitando-se na medida do possível a obtenção da tonalidades próximas umas das outras. No caso de exame de um microconstituente a sua tonalidade de cinza deve ser uniforme em toda a área a ser examinada. Uma variação de tonalidade poderá introduzir erros nos resultados, se na discriminação não for possível igualar as diversas nuances de cinzas do microconstituente.

Ajuste de Iluminação: As diversas partes do microscópio ótico devem ser ajustadas para se obter um campo com intensidade de iluminação uniforme e um bom contraste entre os diversos microconstituintes que se deseja medir. Isto pode ser conseguido com a centragem do filamento da lâmpada e ajustagem dos diafragmas de campo e de abertura do microscópio. Pode-se também utilizar outras técnicas, por exemplo, o uso de filtros que melhoram o contraste. Existe também um dispositivo para compensar a perda de luminosidade em regiões de imagem, que é controlado manualmente e uniformiza a intensidade de luminosidade no monitor de televisão. O ajuste deste controle deve ser feito para cada determinação a ser efetuada.

Ajuste dos Discriminadores: Este é o ponto crítico de qualquer determinação. Para materiais nos quais a diferença de tonalidades é bastante grande, por exemplo constituintes brancos em fundo negro, a discriminação é facilitada porque após conseguir-se a discriminação do fundo negro passa-se por todas as tonalidades de cinza até chegar ao branco. Tem-se desta forma uma boa margem para a ajustagem dos discriminadores. No entanto, na maioria das amostras a diferença de tonalidades existentes é bem menor, dificultando o ajuste dos discriminadores. Nestes casos será sempre importante a técnica adotada de preparação da amostra e a experiência do operador.

Resolução: O tamanho mínimo de objetos a ser selecionado pelo sistema é dado pelo limite de resolução do microscópio ótico. O sistema dispõe ainda de um controle para variar a resolução da imagem do monitor de televisão. Este controle pode ser útil, por exemplo, quando se quer eliminar partes pequenas da amostra. Ao se diminuir a resolução da imagem elas deixam de ser discriminadas. Outro exemplo de utilização é na determinação da porcentagem da área de um microconstituente composto de duas fases, onde uma menor resolução ajuda a sua discriminação.

3 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Foram efetuadas determinações de porcentagem de fases presentes e de tamanho de grão em três materiais distintos. Estas aplicações não cobrem todas as possibilidades possíveis do sistema, pois utilizam somente as medidas de área, e de intersecções com as linhas da televisão. Foram os seguintes os materiais utilizados e parâmetros procurados: em ferro fundido nodular a porcentagem de perlita, resultados já publicados⁽¹⁰⁾; em pastilhas sinterizadas de UO_2 de alta densidade (92 a 94% da densidade teórica) a porcentagem de porosidade e o tamanho de grão, determinações de interesse para o controle de qualidade na fabricação de pastilhas de UO_2 para reatores nucleares⁽¹¹⁾; em aço ferrítico o tamanho de grão, utilizado como material padrão para determinação deste parâmetro.

3.1 – PORCENTAGEM DE FASES PRESENTES

3.1.1 – Porcentagem de Perlita em Ferro Fundido Nodular

Determinaram-se as porcentagens de perlita para várias amostras com diferentes teores em cobre⁽¹⁰⁾. A Figura 4 apresenta uma micrografia de ferro fundido nodular, mostrando as tonalidades apresentadas por cada um dos microconstituintes. Verificou-se que a perlita tinha um tom intermediário entre o da grafita e o da ferrita, às vezes adquirindo a cor da grafita. Devido a isto, não se conseguiu discriminar totalmente a perlita da grafita, apesar de haver possibilidade de discriminação de tonalidades intermediárias.

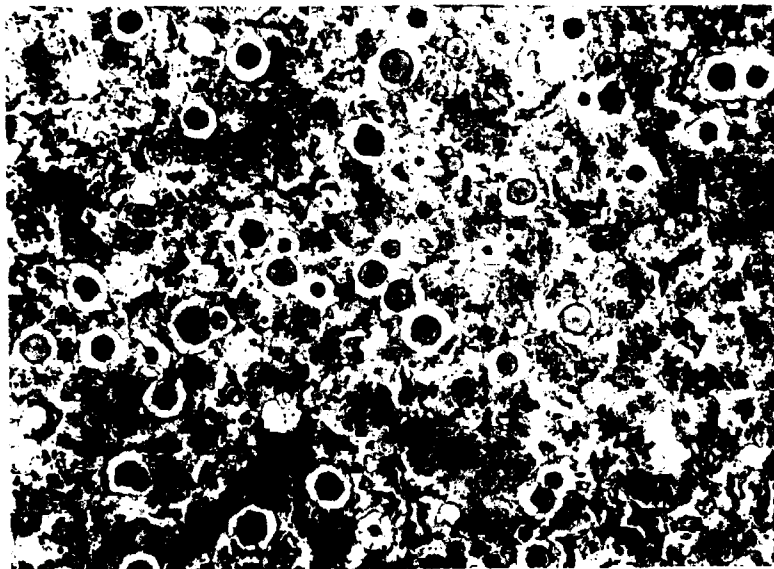


Figura 4 – Microestrutura de ferro fundido nodular com cerca de 80% de perlita na matriz. Ataque: Nital. Aumento: 100 X.

Para contornar esta dificuldade, optou-se pela seguinte técnica para as medidas – primeiramente determinou-se a percentagem de área da grafita para a amostra sem ataque, após o ataque determinou-se a percentagem de perlita mais grafita. Estas determinações foram facilitadas pois a diferença de tonalidades era grande em ambos casos. A percentagem de perlita foi calculada pela diferença entre as duas determinações.

Para a maioria das amostras foram realizadas duas determinações da percentagem de perlita, em épocas diferentes. A tabela I apresenta os valores encontrados de percentagem de perlita em amostras com determinados teores de cobre.

Tabela I
 Percentagem de área de perlita de duas
 ligas de composições diferentes.

Composição A			Composição B		
Teor Cu	% Perlita		Teor Cu	% Perlita	
	Determinação (*)			Determinação (*)	
	1º	2º		1º	2º
0,00	43,0	41,0	0,28	20,5	23,0
0,57	71,5	72,5	0,51	33,0	38,5
0,88	81,5	80,5	0,84	62,0	64,0
0,97	75,5	78,0	1,31	78,0	–
1,42	81,5	–	1,44	77,5	77,0
1,80	77,0	80,0	1,59	76,0	80,0

(*) As determinações (1º e 2º) foram feitas em épocas distintas.

Verifica-se que houve boa reprodutibilidade nas duas determinações efetuadas, com qualquer das determinações revelando o efeito do cobre na porcentagem de perilita. As pequenas diferenças observadas podem ter origem por algumas diferenças dos ajustes apresentados no item 2-2, bem como em ligeiras variações de preparação das amostras.

3.1.2 – Porosidade em Pastilhas Sinterizadas de UO_2 de Alta Densidade

Procurou-se determinar a porcentagem volumétrica das porosidades nas pastilhas de UO_2 e verificar o comportamento dos resultados do Micro-Videomat comparativamente a métodos visuais.

Como nestas pastilhas as porosidades são de pequenas dimensões, optou-se inicialmente por objetiva de maior resolução (X100 óleo) Utilizando-se esta objetiva as porosidades assumem diferentes tonalidades. Este efeito pode ser observado na Figura 5, onde é apresentada uma micrografia de UO_2 sem ataque. Além disso notou-se que a diferença de tonalidades entre a porosidade e a matriz não era grande, dificultando um pouco a discriminação das porosidades.

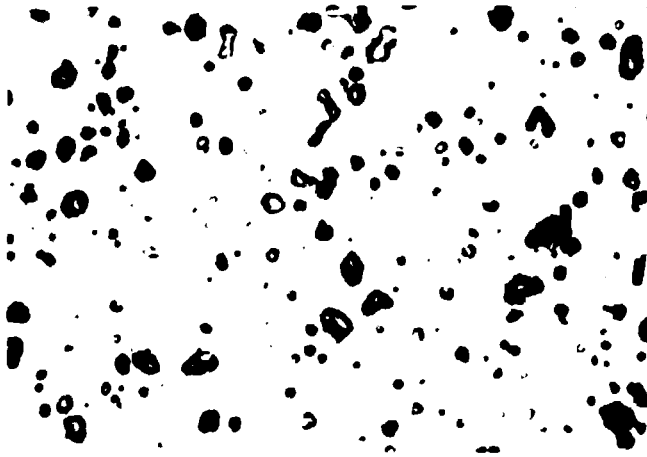


Figura 5 – Micrografia de pastilhas de UO_2 de alta densidade, mostrando a porosidade existente. Sem ataque. Aumento: 1.000 X

Determinou-se para vários ajustes dos discriminadores a porcentagem de porosidade encontrada para um determinado campo. A Figura 6 apresenta a curva de discriminação em função da porcentagem da porosidade para duas amostras. Para o mesmo campo, determinou-se a porcentagem de porosidade pela contagem de pontos utilizando o método das grades^(5,9). Baseado nestas determinações são apresentadas nas curvas de discriminação obtidas as faixas ótimas de discriminação, valores bastantes coincidentes dos pontos ótimos escolhidos pelo operador para cada amostra. Verifica-se que não há singularidade na curva de discriminação, mas nota-se que após a faixa ótima a relação entre o aumento de porosidade e o aumento do discriminador é maior. Isto pode ser justificado nestas amostras onde se tem pequenas diferenças de tonalidades, apesar da variação não ser significativa para determinação do ponto ótimo. Outro fato é que os valores de discriminação ótimas são diferentes para as duas amostras, mostrando que o ajuste deve ser feito para cada amostra.

Foi em seguida determinada a porcentagem de poros em vários campos pelo método das grades e pelo Micro-Videomat com vários aumentos. Para garantir que as regiões observadas fossem as mesmas, independentemente do método, utilizou-se uma amostra com área de 1 mm^2 . As medidas com a objetiva de X100 óleo foram feitas para campos individuais, enquanto que para a de 40X os campos foram varridos automaticamente. A tabela II apresenta os resultados obtidos para duas amostras.

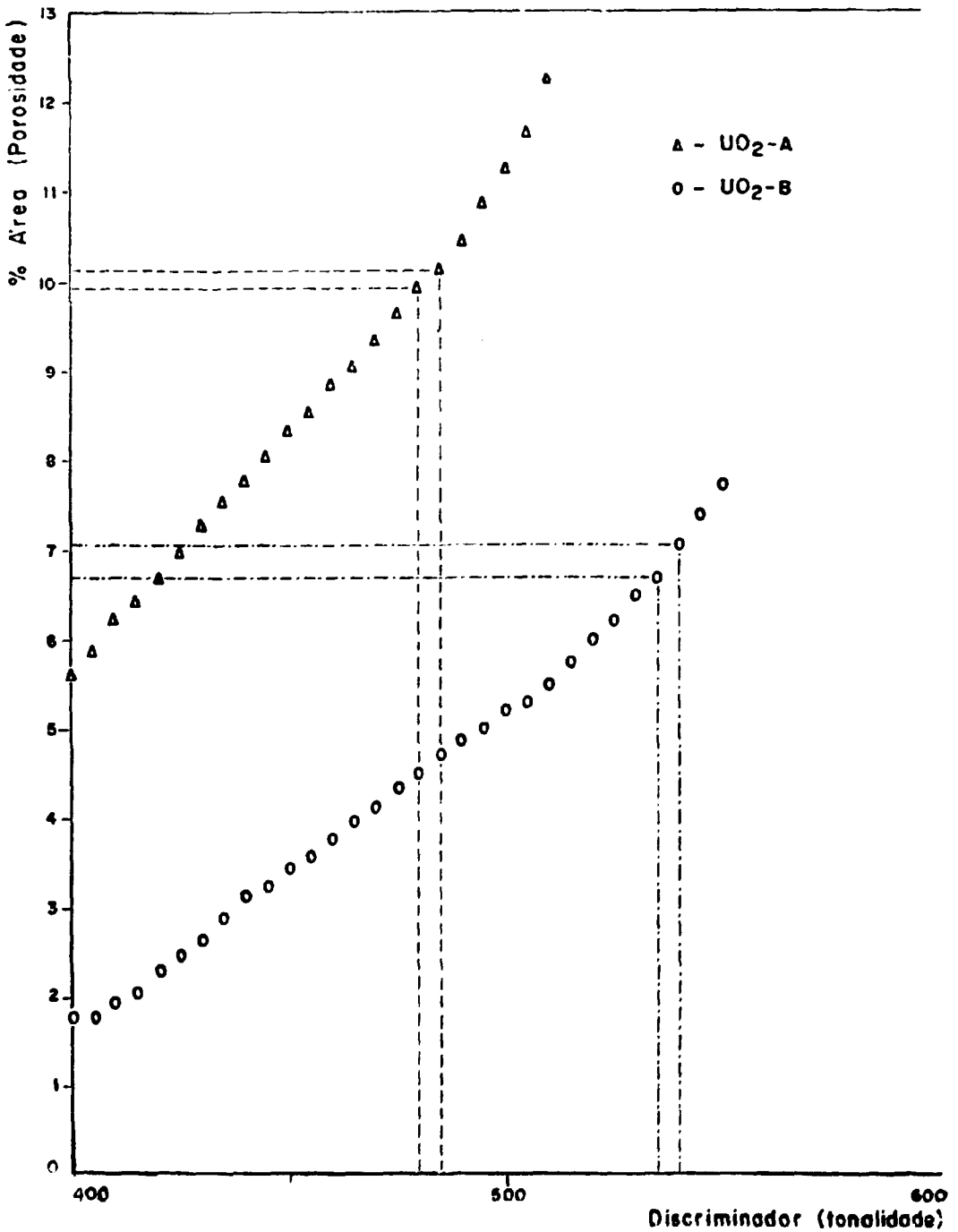


Figura 6 - Variação da porcentagem em áreas de porosidade com diversos níveis de discriminação num determinado campo. A faixa entre as linhas pontilhadas representa a discriminação ótica.

Tabela II
Resultados da determinação de porosidade em pastilhas de UO₂,
comparando os métodos grade e micro-videomat.

Método	Grades	Micro-Videomat		
		X100 – X2	X100 – X1,25	X40 – X2
Aumento Ótico (*)	X100 – X2	X100 – X2	X100 – X1,25	X40 – X2
Porosidade (%) Amostra 1 (**)	5,6 ± 2,2	5,1 ± 2,6	5,8 ± 1,9	–
Porosidade (%) Amostra 2 (**)	6,1 ± 2,0	6,1 ± 2,4	5,7 ± 2,0	5,5 ± 1,2

(*) Estes valores representam o aumento da objetiva e o fator ótico de aumento do microscópio, respectivamente 1º e 2º valores.

(**) Nesta tabela, bem como nas seguintes, os números precedidos do sinal ± são os desvios padrões.

Pode-se verificar pela tabela II que não houve diferença significativa entre os valores encontrados. Parece que o fato das porosidades apresentarem tonalidades diferentes com a objetiva X100 óleo não provoca uma variação sistemática nos valores de porosidade encontrados. Também seria de se esperar que, com menores aumentos o Micro-Videomat não acusaria as pequenas porosidades e o resultado deveria diminuir. No caso da amostra 2 houve um decréscimo da média encontrada, não sendo porém significativo em vista dos desvios padrões encontrados. Portanto na determinação das porosidades de pastilhas sinterizadas de alta densidade pode ser utilizado a objetiva de X40 sem introdução de grandes erros.

3.2 – TAMANHO DE GRÃO

3.2.1 – Aço Ferrítico

Escolheu-se como padrão para determinação do tamanho de grão um aço com silício, ferrítico, porque tem poucas interferências na discriminação. O principal objetivo foi comparar os resultados obtidos pela contagem visual com as do Micro-Videomat.

Na determinação do tamanho de grão de uma amostra são discriminados os contornos do grão e mede-se a intersecção das linhas de televisão com estes contornos. No caso do aço ferrítico, apesar de haver uma pequena diferença de tonalidade nos contornos (figura 7), conseguiu-se uma boa discriminação. O método visual usado foi o de intersecções utilizando circunferência de raio conhecido na ocular do microscópio⁽⁴⁾. A tabela III apresenta os resultados de tamanho de grão encontrados para o aço ferrítico obtidos pelos dois métodos.

Tabela III
Resultados obtidos na determinação do tamanho de grão para
aço ao silício, pelos métodos circunferência de
Hilliard e Micro-Videomat.

Método	Circunferência	Micro-Videomat		
Aumento Ótico (*)	X8 – X2	X8 – X1,25	X4 – X2	X4 – X1,6
Tamanho de grão (μ)	88,5 \pm 11,7	90,9 \pm 5,2	87,1 \pm 6,5	88,3 \pm 2,9

(*) Estes valores representam o aumento da objetiva e o fator ótico de aumento do microscópio respectivamente 1º e 2º valores.

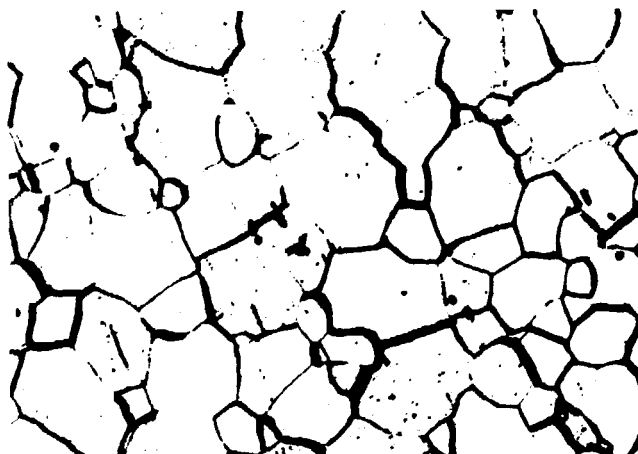


Figura 7 – Micrografia de aço ferrítico ao silício. Ataque: Nital. Aumento: 80 X.

Estes resultados mostram que quando se consegue uma boa discriminação do que se quer medir, o Micro-Videomat reproduz os valores obtidos por outras técnicas.

3.2.2 – Pastilhas sinterizadas de UO_2 de alta densidade

Na determinação do tamanho de grão de material sinterizado, no caso o UO_2 , surge de imediato uma dificuldade: as porosidades tem aproximadamente a mesma tonalidade dos contornos de grãos e são discriminadas juntas. A Figura 8 apresenta uma fotografia onde são vistas as imagens da televisão, de UO_2 , atacado, com imagem normal e imagem discriminada.

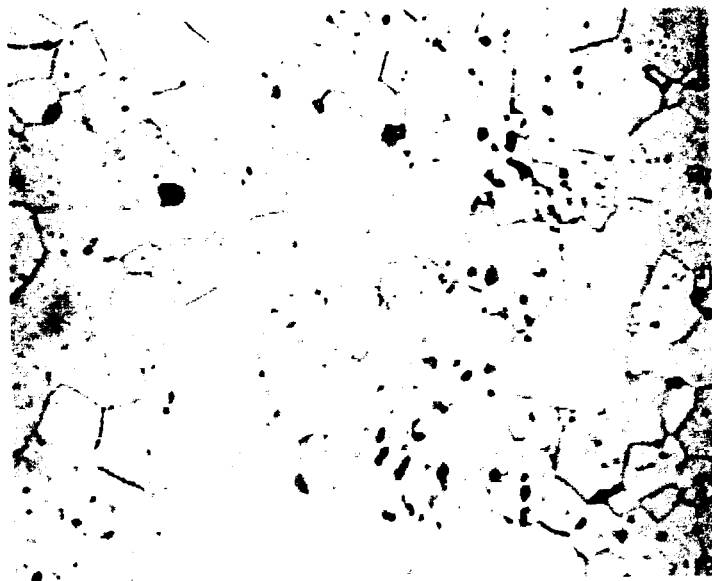


Figura 8A — Fotografia da tela de televisão, com imagem normal, apresentando pastilhas de UO₂ de alta densidade, atacada. Aumento ótico: 800 X.

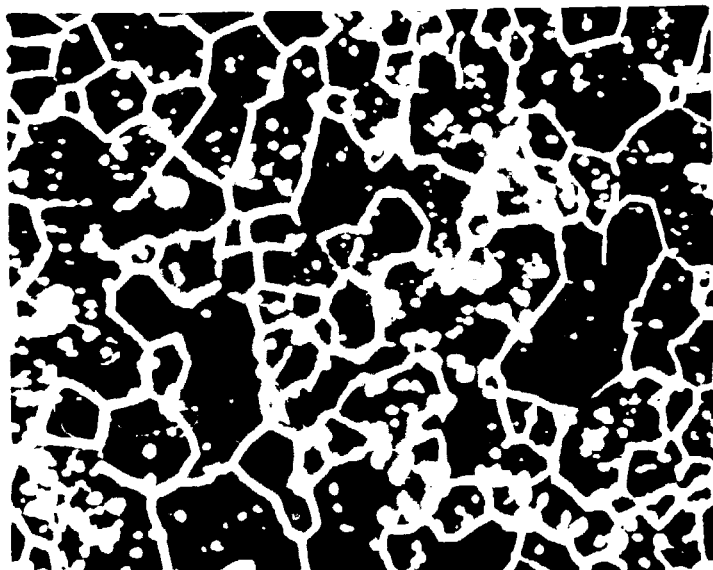


Figura 8B — Fotografia da tela de televisão com imagem discriminada para contorno de grão, no mesmo campo e aumento da figura 8A. Utilizou-se resolução de imagem de televisão intermediária.

Determinou-se o tamanho de grão nas amostras de UO₂ pelo método de intersecções na circunferência e com o Micro-Videomat variando os aumentos e resoluções de imagem na televisão. A tabela IV apresenta os resultados encontrados para duas amostras.

Tabela IV
Resultados da determinação do tamanho de grão médio, de pastilhas de UO₂, por dois métodos: circunferência e micro-videomat.

Método	Circunferência	Micro-Videomat					
		X100 - X1,6		X40 - X20		X40 - X1,6	
Aumento Ótico (*)	X100 - X1,6	X100 - X1,6		X40 - X20		X40 - X1,6	
Resolução Imagem TV (**)		MAX:	INT.	MAX:	INT.	MAX:	INT.
Tamanho de grão (μ) Amostra 1	9,5 ± 1,4	6,8 ± 0,7	-	8,9 ± 0,8	-	10,4 ± 0,9	-
Tamanho de grão (μ) Amostra 2	8,9 ± 1,2	-	-	7,4 ± 0,6	8,1 ± 0,7	10,3 ± 1,1	11,3 ± 1,6

(*) Estes valores representam o aumento da objetiva e o fator ótico de aumento do microscópio, respectivamente 1º e 2º valores.

(**) Utilizou-se duas resoluções de imagem na televisão: máxima e intermediária.

Os resultados obtidos no Micro-Videomat são diferentes entre si, sendo alguns bem próximos do encontrado pelo método da circunferência. O tamanho de grão encontrado aumenta com o decréscimo da ampliação, devido ao menor efeito causado pela porosidade. No ataque de UO₂ muitos contornos ficam levemente atacados não sendo em consequência discriminados; esse efeito é ampliado para os menores aumentos. Este fato, aliado à diminuição do efeito de porosidade, resulta os altos valores encontrados para os menores aumentos. Os aumentos e resoluções intermediárias utilizados resultaram os valores mais próximos dos fornecidos pelo método da circunferência. Isto é devido ao desaparecimento de porosidades menores com esta resolução. Para comprovar a conveniência do uso destes aumento e resolução, foram efetuadas medidas em várias amostras com o micro-videomat e comparadas com o método da circunferência. A tabela V apresenta estes resultados.

Tabela V
Tamanhos de grão médio de amostras de UO₂ pelos métodos da circunferência e micro-videomat.

Amostra	1	2	3	4	5
Tamanho de grão circunferência (μ)	11,5 ± 0,8	9,9 ± 0,7	9,0 ± 0,5	10,1 ± 0,6	11,2 ± 0,7
Tamanho de grão Micro-Videomat (*) (μ)	10,6 ± 0,7	9,9 ± 1,2	9,2 ± 0,8	11,2 ± 0,9	9,6 ± 1,0

(*) Utilizou-se objetiva X40, fator ótico de aumento X2 e resolução de imagem da televisão intermediária.

Pode-se ver por esta tabela que os resultados encontrados por ambos os métodos são praticamente iguais.

4 – DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Não se pretendeu, nesta apresentação, esgotar os fatores que devem ser importantes para a operação do sistema, mas apenas aqueles cuja influência foi comprovada na execução deste trabalho. Também não foram utilizadas todas as possibilidades de medida do sistema. No entanto os diferentes exemplos ilustram bem a influência de alguns dos fatores mencionados.

A necessidade de diferenças de tonalidade entre os diversos microconstituintes da amostra fica evidente no caso do ferro fundido, em que dada a proximidade de tonalidade entre a grafita e a perlita, utilizou-se duas etapas para a determinação da porcentagem de perlita. Também devido a este fator houve certa dificuldade de discriminação das porosidades e dos contornos de grãos em relação a matriz, nas pastilhas de UO_2 . Já no caso do aço ferrítico onde as diferenças de tonalidades são grandes, a discriminação foi facilitada.

Os exemplos do trabalho mostram também a importância da escolha do aumento adequado. Na determinação de porosidade foi escolhido inicialmente objetiva de maior resolução, sendo posteriormente verificado que outra objetiva pode ser utilizada com introdução de pequeno erro, além do fato de permitir varredura automática de amostra. Na determinação do tamanho de grão nesta pastilha a utilização de menores aumentos provocou diminuição do efeito indesejável das porosidades.

Outro aspecto que deve ser mencionado é que em metalografia quantitativa é importante a estimativa do número de medidas necessárias para se obter uma determinada precisão. Normalmente seu cálculo é feito a partir de um pequeno número de medidas, do qual se obtém o número de campos necessários⁽⁹⁾. Utilizando-se o micro-videomat comandado por computador este trabalho é reduzido pois obtém-se juntamente com o valor do parâmetro encontrado para cada campo a média e o desvio padrão dos campos observados (valores apresentados nas tabelas).

Os resultados obtidos no micro-videomat apresentaram-se bastante concordantes com os dos métodos visuais, principalmente quando a discriminação era perfeita. Nos casos em que havia alguma outra influência (tamanho de grão em UO_2), também se obteve boa concordância após a escolha da técnica adequada. Em casos como este pode-se escolher a técnica a ser utilizada por comparação dos resultados obtidos com o micro-videomat e por outras técnicas de metalografia quantitativa. Foi assim possível estabelecer uma técnica de operação para cada um dos materiais e parâmetros procurados, que forneceu resultados idênticos aos visuais, mesmo quando não havia uma perfeita discriminação do que se desejava medir.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Engenheiros Adalberto Bierrenbach de Souza Santos e Carlos Haydt Castello Branco pelos resultados e fotografias de ferro fundido apresentados. Agradecem também ao Sr. Ronildo de Menezes pela confecção dos gráficos e desenhos do trabalho.

ABSTRACT

The quantitative determination of metallographic parameters is analyzed through the description of the Micro-Videomat automatic image analysis system and the examples of its utilization. The examples taken by the authors are: volumetric percentage of perlite in nodular cast irons, porosity and average grain size in high-density sintered pellets of UO_2 , and grain size of ferritic steel.

The particular techniques adopted in each case are described and the results obtained are compared with the corresponding ones by the direct counting process. These were counting of systematic points (grid) to measure the volume and the intersections method, by utilizing a circumference of known radius for the average grain size. In the case of nodular cast iron, the adopted technique resulted from the small difference of optical reflectivity of graphite and perlite. Porosity evaluation of sintered UO_2 pellets is also analyzed.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLMAND, T.R. & COLEMAN, D.S. Application of the image analysing computer in materials technology. *Metals Mater.*, London, 5:32-41, 1971.
2. DE HOFF, R.T. & RHINES, F.N. *Quantitative microscopy*. New York, McGraw-Hill, 1968.
3. GROBKOPF, R. Fotometria y stereometria microscopicas mandadas por computadores de procesos. *Rev. Zeiss*, Rio de Janeiro, 20(80):16-20, 1972/73.
4. HILLIARD, J.E. Estimating grain size by the intercept method. *Metals Prog.*, New York, 85(5): 99-102, 1964.
5. _____. Measurement of volume in volume. In: DE HOFF, R.T. & RHINES, F.N. *Quantitative microscopy*. New York, McGraw-Hill, 1968. p.45-76.
6. LANG, W. Microvideomate: television microscope for stereometric analysis. *Zeiss Inf.*, Oberkochen/Wurt, 73:700-7, 1970.
7. MADSEN, U.P. & GERMAN, R.M. Quantitative metallography using a television camera and a laboratory computer. *Metallography*, New York, 5:333-40, 1975.
8. MARTENS, A.E. et alii. Automate visual labor. *Ind. Res.*, Chicago, 17(11):65-9, 1975.
9. MENEZES, R.A. & BASTION, F.L. Metalografia quantitativa aplicada ao controle de inclusões não metálicas em aço. *Metalurgia*, São Paulo, 30:243-50, 1974.
10. SOUZA SANTOS, A.B. & CASTELO BRANCO, C.H. Efeitos de adições de cobre em ferro fundido nodular hipereutético. *Metalurgia*, São Paulo, 31:737-47, 1975.
11. SOUZA SANTOS, T.D. et alii. Característicos estruturais de pastilhas retificadas de UO₂ para reatores nucleares. *Metalurgia*, São Paulo, 29:45-51, 1973.
12. UNDERWOOD, E.E. Applications of quantitative metallography. In: AMERICAN SOCIETY OF METALS, Metals Park, Ohio. *Metals handbook*. Metals Park, Ohio, 1973. v.8, p.37-47.
13. _____. *Quantitative stereology*. Reading, Mass., Addison-Wesley, 1970.