

O granxel: Um novo conceito para o processamento digital de imagens microestruturais

The granxel : A new concept for the digital processing of microstructural images

Lúcio Carlos Martins Pinto¹,
José Carlos Bressiani²
João Carlos Figueira Pujol¹,

¹Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN
Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN
30161-970 Belo Horizonte - MG - Brasil
pujol@dcc.ufmg.br ou
lucio@dcc.ufmg.br

²Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN
Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN
Cx. Postal 11049(cep-05499-900)
São Paulo - SP - Brasil

Abstract

This work introduces a new concept applicable to the digital processing of microstructural images. This concept, named *granxel*, in analogy to pixel, which is the smallest element of a digital image, has been defined to speed up the development of algorithms to obtain parameters of the quantitative metalography. The *granxel* data structure includes common parameters of grains and pores in a microstructure such as: area, perimeter, spatial orientation, mean intercept, width, form factor, Feret diameter and others. In the course of this work, the advantages of using such a data structure are described.

Resumo

Apresenta-se neste trabalho, um novo conceito aplicável ao processamento digital de imagens microestruturais. Este novo conceito, denominado *granxel*, em analogia ao pixel que é o menor elemento de uma imagem digital, foi criado para facilitar e agilizar o desenvolvimento de algoritmos para a obtenção de parâmetros da metalografia quantitativa. Ao longo deste trabalho, descreve-se as vantagens da utilização da estrutura de dados *granxel*, a qual incorpora parâmetros comuns a grãos e poros numa microestrutura, como áreas, perímetros, orientações, interceptos médios, larguras, fator de forma, diâmetro de Feret, e outros.

1. Introdução

A obtenção de parâmetros da metalografia quantitativa pode envolver, conforme o caso, uma quantidade enorme de medidas e cálculos. O advento de microcomputadores de alto desempenho, aliado ao desenvolvimento de softwares conhecidos como *analisadores de imagens*, tem tornado mais acessíveis, rápidas e precisas estas medidas. No processo de caracterização de materiais, em geral, é necessário a medição de área, perímetro, orientação, intercepto médio, largura, número de elementos e outros parâmetros geométricos, a partir dos quais parâmetros estereométricos podem ser estimados. Para facilitar o desenvolvimento dos algoritmos que permitem a obtenção destes parâmetros, a partir de imagens microestruturais digitalizadas, propõe-se a introdução do conceito de *granxel*, um elemento microestrutural processável, em analogia ao pixel, que é o menor elemento de imagens digitais.

2. O granxel

Para processar a grande variedade de parâmetros que se referem aos grãos numa microestrutura, a utilização da entidade conhecida como estrutura de dados é uma consequência natural, pois estruturas auxiliam na organização de dados complexos, principalmente em programas grandes, como são os sistemas para processamento de imagens digitais. O uso de estruturas de dados permite o agrupamento de variáveis inter-relacionadas de forma que possam ser tratadas como um todo, ao invés de entidades separadas/1,2/. O *granxel* é uma estrutura de dados que encapsula parâmetros como perímetro, orientação, fator de forma, intercepto médio, centro de massa, diâmetro de Feret, perímetros normal e total, etc. Ele define um tipo de dado, o elemento microestrutural, que pode ser um grão ou um poro.

As modernas linguagens de programação permitem a criação de estruturas de dados, conforme mostrado a seguir, para a estrutura *granxel*, a qual pode ser criada, por exemplo, com a linguagem C/2/ ou Pascal. Variáveis podem ser definidas como sendo do tipo *granxel*, da mesma forma como podem ser definidas do tipo Real ou Integer, por exemplo, nas citadas linguagens. No caso de linguagens orientadas para objeto, esta estrutura de dados pode representar um objeto.

2.1 Definição dos membros da estrutura

A figura 1 mostra um *granxel* representando um grão contendo poros no seu interior. O perímetro normal é aquele externo ao grão, e o perímetro total inclui o perímetro dos poros por acaso existentes no seu interior. A área de um granxel corresponde àquela obtida por algum algoritmo apropriado para o processamento dos elementos microestruturais. O centro de massa fornece coordenadas (x,y), e a orientação espacial fornece um ângulo da orientação preferencial do elemento. O membro *flagAtivo* é uma variável booleana que indica se um dado elemento, mesmo já processado, deve ser ou não considerado nos cálculos estatísticos. O fator de forma pode ser obtido por algoritmos que calculem a área A e perímetro normal p, usando-se a fórmula $f=4\pi A/p^2$. Os valores próximos de 1 indicam que a forma do elemento se assemelha a um círculo, e isto pode ser usado como vantagem adicional na análise de imagens microestruturais, por exemplo, num experimento de deformação a frio, no qual os grãos do material apresentam-se alongados. Neste caso, o grau da deformação pode ser medido pela variação da esfericidade dos

grãos das amostras estudadas. A tabela 1 indica parâmetros que podem ser automaticamente medidos pelo analisador microestrutural Quantikov/3/, cujos algoritmos foram implementados utilizando a estrutura granxel. O processamento pode ser global(G) ou unitário(U).

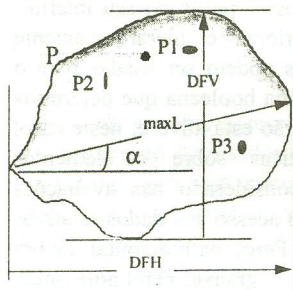


Figura 1 Esquema do elemento Granxel. Cada poro no interior do grão(granxel) deve ser tratado como se fosse granxel filho do granxel(pai) que o contém.

Perímetro Total	P + P1 + P2 + P3	G/U
perímetro do elemento	P	G/U
perímetros dos poros no interior do grão	P1, P2 e P3	G/U
diâmetro de Feret na vertical	DFV	G/U
diâmetro de Feret na horizontal	DFH	G/U
diâmetro de Feret para a máxima largura	maxL	G/U
ângulo para o diâmetro de Feret máximo	α	U
Area - inclui ou não poros	A	G/U
orientação espacial	Θ (não indicado)	G
fator de forma - esfericidade	$f = 4\pi A / P^2$	G/U
relação superfície-volume	Sv	G
intercepto médio	N _L	G
frações volumétricas	V _V	G
tamanho de grão	g	G

Tabela 1 - Alguns dos parâmetros que podem ser obtidos com o analisador microestrutural Quantikov/3/, cujos algoritmos foram implementados utilizando a estrutura Granxel.

O diâmetro de Feret do elemento deve ser obtido através de processamento automático, existindo três possibilidades : na vertical(DFV), na horizontal(DFH) e segundo um ângulo α qualquer. Pode-se ajustar o ângulo α de forma a obter-se a largura máxima do elemento, conforme indicado na figura 1. O diâmetro de Feret pode ser representado por uma estrutura de dados como :

```
struct Feret {
    float vertical ;
    float horizontal;
    float alfa;
}
```

e, de forma semelhante, o perímetro pode ser encapsulado numa estrutura que possibilite a obtenção dos perímetros normal e total, conforme abaixo :

```
struct perimetro {
    float normal ;
    float total ;
}
```

Desta forma, a estrutura *granxel* pode ser melhor escrita na forma aninhada, encapsulando as duas estruturas acima citadas, conforme abaixo :

```
struct granxel {
    int flagGranxel
    int flagAtivo
    float area
    float fatorDeForma
    float larguraMáxima
    float centroDeMassa
    float orientação
    struct Feret
    struct perimetro
    int *vizinhoMediato
    int granxelPai
    int *granxelFilho;
}
```

3. Vantagens na utilização da estrutura granxel

Existem inúmeras vantagens na utilização da estrutura de dados **granxel** proposta neste trabalho, tanto do ponto de vista computacional quanto conceitual, como acontece no caso do perímetro que foi definido na estrutura **granxel** como normal e total. Durante o processamento digital das imagens, se estes perímetros forem iguais, o grão em questão não possui poros no seu interior. Poros no interior dos grãos são tratados como **granxels** interiores e hierarquicamente subordinados. Portanto, as mesmas funções que operam sobre grãos podem ser usadas para o processamento dos poros da microestrutura. A variável **flagAtivo** é uma booleana que determina se um determinado grão está ativo ou não. Quando **flagAtivo** = 1, o grão está ativo e, neste caso, ele deve ser usado por algoritmos que fazem considerações estatísticas sobre os elementos processados. Quando **flagAtivo** = 0, o grão em questão é desconsiderado nas avaliações estatísticas. Uma vantagem na utilização da estrutura **granxel** está no acesso aos dados relativos aos poros ou grãos da microestrutura. Para acessar-se o diâmetro de Feret, na horizontal, de um determinado grão, escreve-se simplesmente, **diametroDeFeretHoriz** = **granxel.Feret.horizontal**, onde o **ponto(.)** é usado para conectar o nome do membro (diâmetro de Feret na horizontal) com o nome da estrutura (**granxel**).

As funções para processamento dos granxels podem ser escritas para receberem como dados de entrada granxels não processados, e os devolverem já processados, o que será facilmente indicado pela variável-membro **flagAtivo**. Desta forma, **flagAtivo=1** significa que o elemento já foi processado. Todas as funções para processamento dos elementos microestruturais podem ser escritas para receberem granxels como variáveis de entrada, devolvendo parâmetros relativos ao mesmo, tais como : área, perímetro, orientação, etc. Inúmeras operações e funções podem ser definidas com base na estrutura **granxel**, conforme mostrado a seguir.

3.1 Definição de operações sobre granxels

Uma vez processada, uma imagem pode ser inteiramente definida pela sua estrutura de **granxels**, sob o ponto de vista microestrutural, sem ser necessário a utilização de conceitos de imagens digitais, os quais, geralmente, não despertam interesse para o pesquisador que é o usuário final dos analisadores de imagens.

A estrutura do **granxel** permite definir relações entre eles como: os vizinhos imediatos para cada granxel (relação entre grãos), os que estão contidos nele e o que os contém (relações entre poros e grãos). Estas relações possibilitam a definição de diversas operações e funções como a seguir:

- | | |
|-------------------|--|
| união | • dois granxels contíguos na imagem podem ser reunidos em um só |
| subtração | • um granxel pode ser subtraído de outro
(subtração em termos de área e perímetro, por exemplo) |
| eliminação | • um granxel pode ser eliminado da imagem |
| rotação | • um granxel pode ter sua orientação angular alterada |
| zoom | • amplia um granxel um determinado número de vezes |
| areaC | • obtém o círculo de área equivalente |
| perimetroC | • obtém o círculo de perímetro equivalente |

No caso de programação orientada para objeto, estas operações e funções são definidas como membros do próprio tipo do objeto *granxel*. Estas e muitas outras operações e funções podem ser definidas através do conceito de *granxel*.

4. Aplicação

A estrutura *granxel* apresentada neste trabalho foi utilizada no desenvolvimento de algoritmos incorporados ao Analisador Microestrutural Quantikov/3/. Este analisador (Figura 2) é um sistema para captura, processamento e análise de imagens microestruturais no ambiente *Windows*TM. Ele oferece diversas ferramentas para modificar e melhorar imagens com base em princípios de PDI (*Processamento Digital de Imagens-4/*), além de facilidades para obtenção de parâmetros da metalografia quantitativa. O nome Quantikov (Quantificação de Micropartículas pelo método de Saltykov) resultou do fato deste sistema implementar, de forma transparente, o método de Saltykov, o qual permite obter-se uma distribuição tridimensional de tamanhos de micropartículas, a partir de medidas realizadas no plano. Parâmetros importantes como frações volumétricas (V_V), relação superfície-volume (S_V), e intercepto médio (N_L) são obtidos automaticamente pelo analisador. Todos os algoritmos de Quantikov são baseados na estrutura Granxel aqui apresentada.

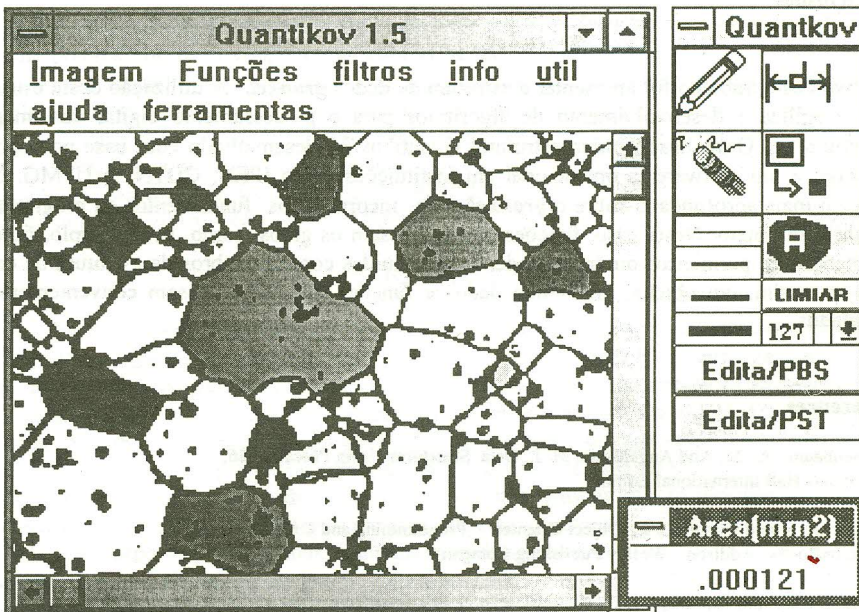


Figure 2 - Tela do sistema Quantikov mostrando alguns elementos (granxels) já processados.

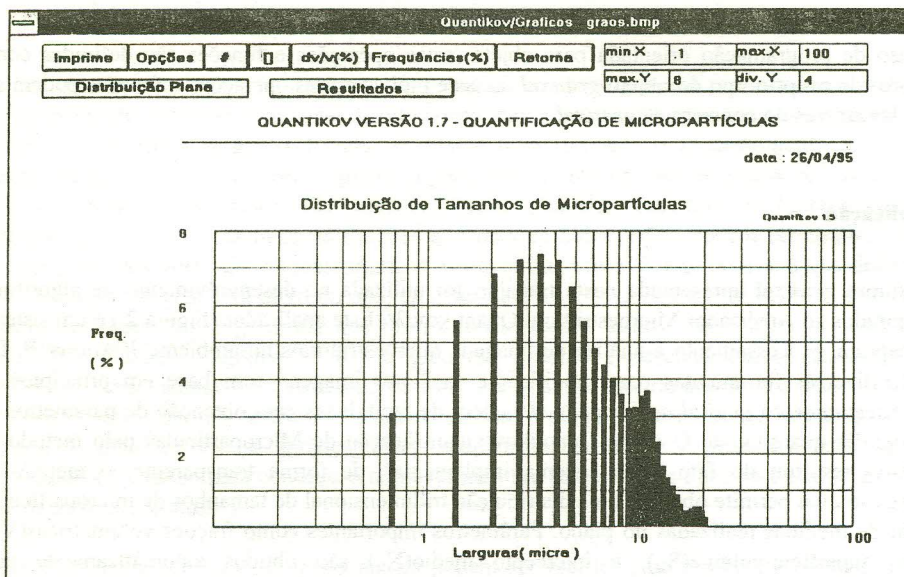


Figure 3 - Distribuição de tamanhos de grãos gerada pelo sistema Quantikov obtida pela aplicação do método de Saltykov.

5. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi apresentar a estrutura de dados *granxel*. A utilização desta estrutura facilita e agiliza o desenvolvimento de algoritmos para o processamento digital das imagens microestruturais. O analisador microestrutural Quantikov/3/, desenvolvido com base no conceito de *granxel*, é um software já operacional em instituições como IPEN, CDTN e UFMG. Uma abordagem mais aprofundada sobre o *granxel* pode incorporar os fundamentos da programação orientada para objeto. Neste caso, funções que processam os grãos, como, por exemplo, funções para obtenção de perímetros ou áreas, podem ser definidas como membros da estrutura de dados criando-se, assim, um objeto, mantendo dados e funções que os processam convenientemente encapsulados.

6. References

- /1/ Tenenbaum, A. M. And Augenstein, M. J., Data Structures Using Pascal, 1986, Prentice - Hall International Edition.
- /2/ Wiener, R. S. and Pinson, L. J., Object Oriented Programming and C++, 1991, MacronBooks, Addison - Wesley Publishing Company.
- /3/ Pinto, L.C.M. and Bressiani, J. C., Quantificação de Micropartículas com o analisador Microestrutural Quantikov, Annals of the International Congress of Metallurgical Technology and Materials - 1994, October, Brazil.
- /4/ Gonzalez, R.C., Wintz, P. Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1987