

1. Publicação nº <i>INPE-4143-PRE/1050</i>	2. Versão	3. Data <i>Abril 1987</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DPI</i>	Programa <i>ANIMA</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>IMAGEN SISTEMA MORFOLOGIA</i>			
7. C.D.U.: <i>621.376.5</i>			
8. Título <i>INPE-4143-PRE/1050</i> <i>"APLICAÇÕES DA MORFOLOGIA MATEMÁTICA"</i>		10. Páginas: <i>16</i>	
		11. Última página: <i>16</i>	
		12. Revisada por	
9. Autoria <i>Junior Barrera</i> <i>Nelson D. A. Mascarenhas</i> <i>Gerald Jean F. Banon</i>		<i>Flávio Roberto D. Velasco</i> 13. Autorizada por	
Assinatura responsável <i>Junior Barrera</i>		<i>Dr. Marco Antonio Raupp</i> Diretor Geral	
14. Resumo/Notas <i>Este artigo apresenta algumas aplicações de algoritmos da Morfologia Matemática ao tratamento e análise de imagens. Os algoritmos de processamento foram executados no Sistema de Análise Morfológica de Imagens (ANIMA), desenvolvido pelo grupo de pesquisa básica do Departamento de Processamento de Imagens (DPI) do INPE.</i>			
15. Observações <i>Trabalho a ser submetido para apresentação no VII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação - XIV SEMISH - Seminário Integrado de Software e Hardware, que se realizará de 11 a 19 de julho de 1987 em Salvador, BA.</i>			

APLICAÇÕES DA MORFOLOGIA MATEMÁTICA

JÚNIOR BARRERA *

NELSON DELFINO D'ÁVILA MASCARENHAS **

GERALD JEAN FRANCIS BANON ***

SUMÁRIO

Este artigo apresenta algumas aplicações de algoritmos da Morfologia Matemática ao tratamento e análise de imagens. Os algoritmos de processamento foram executados no Sistema de Análise Morfológica de Imagens (ANIMA), desenvolvido pelo grupo de pesquisa básica do Departamento de Processamento de Imagens (DPI) do INPE.

ABSTRACT

This paper presents some applications of Mathematical Morphology algorithms to the treatment and analysis of images. The processing algorithms were performed on the Morphological Image Analysis System (ANIMA), developed by the basic research group at the Image Processing Department (DPI) of INPE.

* Mestrando em Computação Aplicada (INPE), Engenheiro Eletricista (Politécnica, USP, 1983), Processamento Digital de Imagens, Engenharia de Software, Arquiteturas Paralelas, Inteligência Artificial, INPE-Instituto de Pesquisas Espaciais, Caixa Postal 515, São José dos Campos, SP, CEP. 12201.

** Ph.D em Engenharia Elétrica (USC, 1974), Mestre em Engenharia Eletrônica (ITA, 1969), Engenheiro Eletrônico (ITA, 1966), Processamento Digital de Imagens, Reconhecimento de Padrões, Processamento Digital de Sinais, Teoria Estatística de Comunicações, INPE Instituto de Pesquisas Espaciais, Caixa Postal 515, São José dos Campos, SP, CEP. 12201.

*** Doutor de Estado em Sistemas e Controle (UPS-Toulouse, França, 1977), Doutor Engenheiro (UPS, Toulouse, França, 1971), Engenheiro em Controle e Eletrônica (INSA, Toulouse, França, 1968), Identificação e estimação, processos estocásticos, conjuntos nebulosos, processamento digital de imagens, reconhecimento de padrões, visão por computador, morfologia matemática, INPE-Instituto de Pesquisas Espaciais, Caixa Postal 515, São José dos Campos, SP, CEP, 12201.

1 - INTRODUÇÃO

A Morfologia Matemática (Serra, 1982; Maragos, 1985; Guichou e Barrera, 1985; Coster et Chermant, 1985) é uma técnica de processamento digital que se caracteriza por aplicar transformações morfológicas e topológicas ao sinal. Ela surgiu na década de sessenta na França, motivada por problemas de análise de imagens microscópicas; desde então vem expandindo o seu horizonte de aplicações e se consolidando como uma ferramenta poderosa para o tratamento de imagens.

O sucesso dessa abordagem motivou a concepção de ambientes para processamento de imagens baseados em transformações da Morfologia Matemática. O ANIMA, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa Básica do Departamento de Processamento de Imagens do INPE, é um desses ambientes (Mascarenhas et al., 1986; Barrera et al., 1987).

O objetivo desse artigo é evidenciar a potencialidade e a versatilidade de algoritmos da Morfologia Matemática pela apresentação de um conjunto de problemas de natureza diversas, resolvidos usando o ANIMA.

2 - UM SISTEMA DE ANÁLISE MORFOLÓGICA DE IMAGENS

A idéia da Morfologia Matemática inspirou-se em uma constatação dos psicólogos da Gestalt (Köhler, 1980): para a mente, perceber uma imagem é transformá-la. Segundo essa ótica, a imagem de um objeto em si não possui nenhuma informação, enquanto o observador não decide qual propriedade do objeto deve ser estudada. Em outras palavras, um observador vê de uma imagem aquilo que é do seu interesse. Portanto, o conceito de estrutura geométrica não é puramente objetivo, pois depende do objeto e do observador. A Morfologia Matemática quantifica essa idéia intuitiva introduzindo o conceito de elemento estruturante. Um elemento estruturante é um outro objeto de uma forma mais simples e tamanho menor do que o objeto original. Escolhido pelo observador, ele interage com o objeto em estudo e transforma-o em uma "caricatura" que pode ser mais expressiva. O poder dessa abordagem, mas também a sua dificuldade, reside exatamente na escolha dos elementos estruturantes.

A Morfologia Matemática modela as imagens por conjuntos. Os objetos X que compõem a imagem E são elementos do conjunto $P(E)$ das partes de E . Nas imagens binárias (2 níveis de cinza) $E \subset \mathbb{R}^2$ e nas imagens em tom de cinza (K níveis, $K > 2$) $E \subset \mathbb{R}^3$. No caso de imagens em tom de cinza, X representa a sombra da função f , que define o nível de cinza de cada ponto da imagem. A sombra de f é a região que está abaixo da superfície $f(X;Y)$.

Uma operação da Morfologia Matemática é composta por duas fases:

i - Uma transformação morfológica:

$$\begin{aligned} \psi : P(E) &\longrightarrow P(E), \\ X &\longrightarrow \psi(X). \end{aligned}$$

ii - Uma medida escalar μ :

$$\mu : P(E) \longrightarrow \mathbb{R},$$

$$X \longrightarrow x.$$

Esses operadores não são simplesmente entes matemáticos. Os seus efeitos não podem violar a realidade física que representam. Eles devem respeitar as condições de contorno impostas pelas leis da percepção visual: invariância à translação, invariância à homotetia, conhecimento local, continuidade (Serra, 1982).

Uma transformação que atende a essas restrições é a chamada transformação "hit-miss". Considere que o conjunto X representa um objeto e o seu complemento X^c representa o fundo, e sejam A e B dois elementos estruturantes (dois objetos particulares). Então, a transformação "hit-miss" de X pelo par (A,B) é o conjunto

$$X \circledast (A,B) = \{z \in E, z: A_z \subseteq X \text{ e } B_z \subseteq X^c\},$$

onde X^c designa o complemento de X relativo a E ($X^c = E - X$):

$$A_z = \{x \in \mathbb{R}^2, x: x = a + z, a \in A\} \text{ (transladado de } A) \text{ } a \in E$$

$$\text{e } B_z = \{x \in \mathbb{R}^2, x: x = b + z, b \in B\} \text{ (transladado de } B) \text{ } b \in E;$$

onde $+$ é a soma vetorial em \mathbb{R}^2 .

Essa transformação é muito importante. Pode-se dizer que ela é a própria linguagem através da qual as idéias da Morfologia Matemática se expressam. Uma linguagem elegante e concisa que permite efetuar as diversas transformações pela escolha adequada de uma sequência de elementos estruturantes.

O Sistema de Análise de Imagens desenvolvido no INPE (ANIMA) se vale dessa linguagem definida pela Morfologia Matemática para extrair informação de imagens. O ANIMA permite localizar regiões homogêneas que possuem características de interesse e extrair dessas regiões atributos que as representam. Estes atributos podem ser de caráter topológico, informando sobre a organização dos objetos na cena, ou simplesmente medidas individuais, relativas a cada partícula (perímetro, área, etc.).

A arquitetura do ANIMA é composta basicamente de quatro níveis hierárquicos: software básico; funções de tratamento de imagens e comunicação entre programas aplicativos (pré-processamento, segmentação, transformações morfológicas, rotulação, extração de atributos, classificação, seleção, gerente de base de dados); biblioteca de aplicativos (programas executáveis compostos pelo encadeamento de funções de análise de imagem); e gerente (utilitário que permite a organização dos programas aplicativos em cardápios). O sistema conta também com uma base de dados que permite a comunicação entre os diversos módulos.

No módulo de pré-processamento estão incluídas as funções básicas que permitem escrever

transformações da Morfologia Matemática para imagens em tom de cinza; no módulo de transformações morfológicas estão as funções básicas para escrever transformações da Morfologia Matemática para imagens binárias.

3 - APLICAÇÕES DE TRANSFORMAÇÕES MORFOLÓGICAS

As técnicas da Morfologia Matemática são úteis para resolver muitos problemas em processamento de imagens. São apresentados aqui alguns desses problemas que foram solucionados no ambiente ANIMA.

3.1 - Homogeneização de Temas

Uma técnica muito usada de localização de regiões homogêneas em imagens é a classificação em temas, baseada em atributos espectrais (níveis de cinza das várias bandas que compõem a imagem). Os resultados da aplicação de algoritmos de classificação são interessantes, mas na maioria das vezes não totalmente satisfatórios. Os estudos do sistema visual humano já revelaram que a identificação de regiões homogêneas se deve a dois fatores: semelhança espectral e proximidade dos pontos. Portanto, as deficiências desses algoritmos de classificação devem estar ligados ao fato de não considerarem a posição relativa dos pontos. De fato, após a classificação sobram nos temas pequenos objetos e pequenos buracos sem significado que podem ser eliminados levando em conta considerações de vizinhança. Esse processamento pode ser efetuado por uma sequência de transformações "hit-miss". A Figura 1 mostra um tema (poros) de uma imagem microscópica de uma rocha (arenito). Nessa imagem é possível observar pequenos objetos isolados e pequenos buracos. A Figura 2 mostra a mesma imagem após uma sequência de transformações "hit-miss". Note-se a homogeneização ocorrida.

Sequência de transformações "hit-miss" usada para homogeneizar os poros na imagem de arenito:

	A	B
	1	
Abertura	1 1 1	∅
	1	1
Fechamento	∅	1 1 1 e complemento
	∅	1
Fechamento	∅	1 1 1 e complemento
	1	1
Abertura	1 1 1	∅
	1	

A primeira transformação, conhecida como erosão, causa uma contração na imagem. A segunda transformação, conhecida como dilatação, causa uma expansão da imagem. A sequência das duas primeiras transformações, conhecida como abertura, causa a eliminação dos pequenos objetos. A sequência das duas últimas transformações, conhecida como fechamento, preenche os pequenos buracos.

3.2 - Identificação de Canais Estreitos

No interior dos poros (regiões ocas) observados em rochas de arenito pode se alojar petróleo. Uma vez constatada a existência de óleo em uma certa região, os geólogos estudam a viabilidade da sua extração. Nesse estudo o conhecimento da anatomia da rede de poros é um dado importante. Se existirem muitos gargalos (canais estreitos), a extração de óleo será dificultada. O uso da transformação de abertura combinada com a subtração de conjuntos permite localizar esses gargalos. A Figura 3 mostra a abertura da imagem de Figura 2. O elemento estruturante usado foi um disco. A Figura 4 mostra a subtração das imagens das Figuras 2 e 3. Notem-se os canais estreitos da Figura 2 identificados na Figura 4.

3.3 - Traçado dos Contornos

A Figura 5 mostra a imagem de um corte histológico de uma árvore de eucalipto, usada na fabricação de papel. Informações sobre o tamanho (área, perímetro, etc.) das fibras (regiões arredondadas) podem ser relevantes para os engenheiros florestais que monitoram o reflorestamento, pois são indicadores da qualidade e da quantidade de papel que pode ser extraído. A Figura 6 mostra uma imagem binária, onde estão presentes apenas fibras. A Figura 7 mostra o contorno das fibras presentes na Figura 6. Essa transformação, que permite a computação direta do perímetro por uma contagem de pontos, foi obtida por uma sequência de transformações morfológicas: erosão da imagem da Figura 6, que tem um quadrado como elemento estruturante, e subtração de imagens (original-erodida).

3.4 - Envoltória Convexa

O reconhecimento de formas é um problema de interesse em muitas atividades (fotointerpretação de imagens de satélite, identificação de defeitos em peças, reconhecimento de peças, etc.). Nesse sentido um parâmetro de interesse é a porcentagem de convexidade (p), relação entre a área do objeto X e a da sua menor envoltória convexa $C(X)$:

$$p = \frac{A[X]}{A[C(X)]} .$$

A envoltória convexa $C(X)$ de um objeto X pode ser obtida por uma sequência de transformações morfológicas. A idéia é "engordar" progressivamente o objeto X até que ele chegue à envoltória convexa. Esse processo de "engordar" X é feito por direções, crescendo em uma direção por vez, através de um algoritmo iterativo. Cada passo corresponde a um crescimento em todas as direções possíveis. O critério de parada é a ausência de modificação, após uma iteração.

A cada iteração corresponde uma sequência de 8 transformações "hit-miss", seguidas da união com a imagem original:

1 1 1	. 1 1	. . 1	. . .	. . .	1 . .	1 1 .	1 1 1
. 0 1	. 0 1	. 0 1	. 0 1	1 0 .	1 0 .	1 0 .	1 0 .
. . .	. . 1	. 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 .	1 . .	. . .
1	2	3	4	5	6	7	8

A Figura 8 mostra um objeto X. A Figura 9 mostra o estado após a 20ª iteração. A Figura 10 mostra um estado algumas iterações à frente.

3.5 - Esqueleto

Outro instrumento de interesse para o reconhecimento de formas é o esqueleto.

Considere um objeto X e a sua fronteira ∂X ; um ponto s de X pertencerá ao esqueleto de X, denotado por $Sq(X)$, se a distância euclidiana de s a ∂X for a mesma para dois pontos distintos de ∂X (Coster et Chermant, 1985):

$$s \in Sq(X) \iff \exists y_1, y_2 \in \partial X, y_1 \neq y_2,$$

de modo que:

$$d(s, y_1) = d(s, y_2) = d(s, \partial X).$$

O esqueleto dá uma idéia da estrutura geométrica do objeto e pode fornecer vários parâmetros que permitem reconhecer formas (números de pontos triplos, comprimentos relativo de ramos, etc.).

O esqueleto $Sq(X)$ de um objeto X pode ser obtido por uma sequência de transformações morfológicas. Essa transformação é "dual" da transformação que leva à envoltória convexa. A idéia é "emagrecer" progressivamente o objeto X até que ele chegue ao esqueleto.

A cada iteração corresponde uma sequência de 8 transformações "hit-miss", seguidas da subtração da imagem original:

1 1 1	. 1 1	0 . 1	0 0 .	0 0 0	. 0 0	1 . 0	1 1 .
. 1 .	0 1 1	0 1 1	0 1 1	. 1 .	1 1 0	1 1 0	1 1 0
0 0 0	0 0 .	0 . 1	. 1 1	1 1 1	1 1 .	1 . 0	. 0 0
1	2	3	4	5	6	7	8

A Figura 11 mostra o esqueleto $Sq(X)$ do objeto X da Figura 8.

3.6 - Eliminação de Ruído

A Figura 12 mostra uma imagem da banda 2 do satélite francês SPOT, recentemente colocado em operação. Note-se que essa imagem apresenta listras verticais (ruído) que comprometem a sua qualidade visual. Essa imagem pode ser restaurada (listras eliminadas) por meio de uma abertura em tom de cinza. A Figura 13 mostra a imagem da Figura 12 após a transformação morfológica. Note-se a ausência das listras ao preço de uma pequena degradação na imagem. O elemento estruturante usado foi um segmento de reta de direção aproximadamente

perpendicular às listras.

3.7 - Extração de Bordas

Uma operação de muito interesse em processamento de imagens é a extração de bordas, isto é, a localização nas imagens em tom de cinza dos traços que definem o contorno dos objetos presentes na cena. Esse efeito também pode ser conseguido por uma sequência de transformações morfológicas. A Figura 14 mostra o gradiente da imagem de eucalipto (Figura 5) e a Figura 15 mostra as bordas dessa cena. O gradiente foi obtido pela subtração de uma dilatação por uma erosão da imagem original e as bordas, pela subtração do gradiente pela sua abertura. O elemento estruturante usado foi um quadrado plano.

4 - CONCLUSÃO

Atualmente pode-se dizer que as técnicas de processamento de imagens se dividem em três níveis de abstração: pré-processamento, onde existe a preocupação de tratar a imagem para melhorar a sua qualidade ou localizar regiões de interesse (classificação, homogeneização de temas, eliminação de ruído, detecção de bordas, etc.); análise, onde o objetivo é descrever as cenas por parâmetros quantitativos (identificação de canais estreitos, traçado de contornos, envoltória convexa, esqueleto, etc.); e compreensão, onde se dá significado aos objetos descritos na análise pelo cruzamento desses dados com as informações conhecidas a priori sobre a cena. A passagem por esses níveis crescentes de abstração implica uma redução progressiva da informação (no sentido de Shannon) manipulada. Imagens coloridas são reduzidas a imagens binárias. Imagens binárias transformam-se em uma lista de parâmetros. Tabelas transformam-se em conceitos.

A Morfologia Matemática é uma ferramenta útil para resolver problemas nos dois níveis inferiores de abstração. Além disso, tal técnica constitui uma abordagem unificada para atacar esses problemas de naturezas distintas. Até então eram conhecidos apenas algoritmos voltados para solucionar problemas específicos.

Mas a elegância de modelagem da Morfologia Matemática não tem apenas valor estético. Na prática, ela permite a existência de Sistemas de Processamento de Imagens com arquitetura de software muito simples e possibilita a definição de processadores paralelos dedicados, o que significa maior eficiência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRERA, J.; MASCARENHAS, N.D.A.; DUTRA, L.V.; MONTEIRO, A.M.V.; ROSIM, S. "Um Sistema Interativo de Análise Morfológica de Imagens" São José dos Campos, INPE, 1986.
- COSTER, M. et CHERMANT, J.L. Précis D'Analyse D'Images, Anatole-France, Éditions Du Centre National de La Recherche Scientifique, 1985.
- GUICHOU, C. e BARRERA, J. "Um Instrumento de Análise de Imagens por Computador: A Morfologia Matemática", Porto Alegre, SBC, 1985.
- KÖHLER, N. Psicologia da Gestalt, Edição Brasileira: Belo Horizonte, Editora Itatiaia, 1980.
- MARAGOS, P.A. "A Unified Theory of Translation-Invariant Systems with Applications to Morphological Analysis and Coding of Images", Phd Thesis, Georgia Institute of Technology, July 1985
- MASCARENHAS, N.D.A.; BARRERA, J.; DUTRA, L.V.; MONTEIRO, A.M.V.; ROSIM, S. "Microscopia Computadorizada", Recife, SBC, 1986.
- SERRA, J. Image Analysis and Mathematical Morphology, London, Academic, 1982.

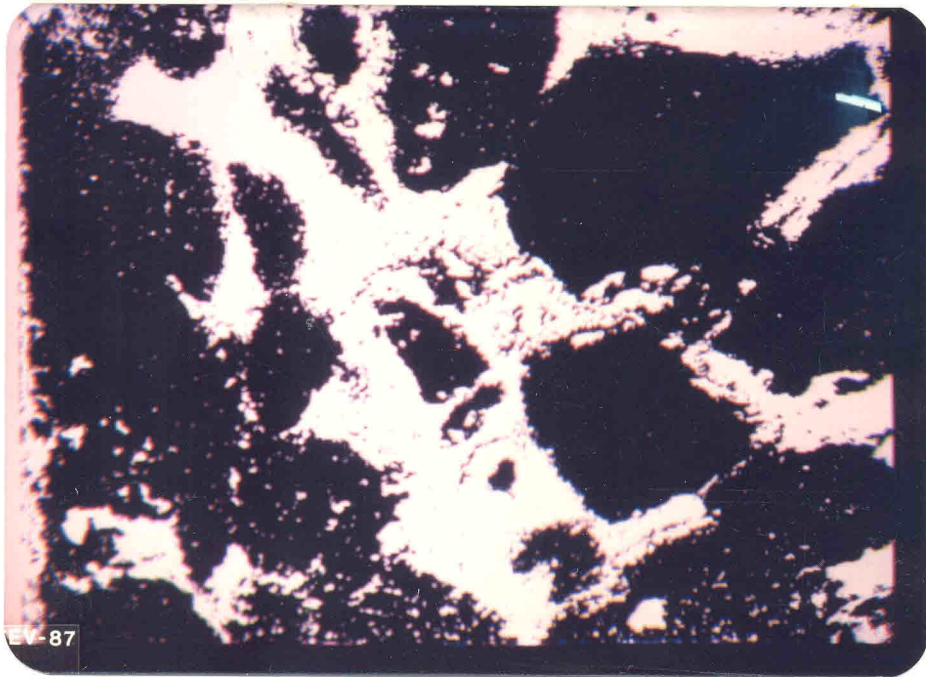


Fig. 1 - Poros em uma amostra de arenito.

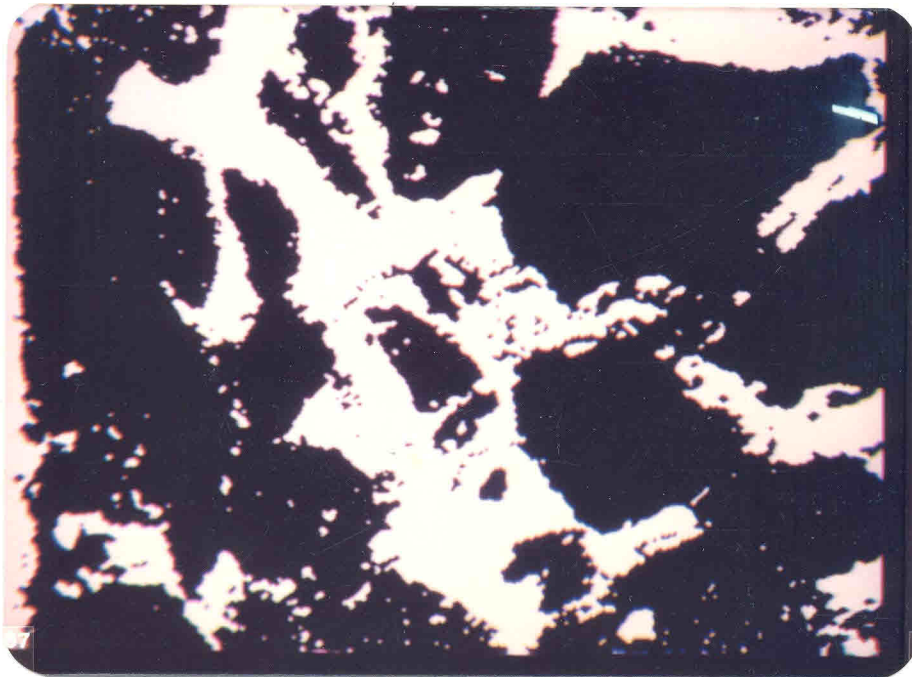


Fig. 2 - Tema homogêneo.

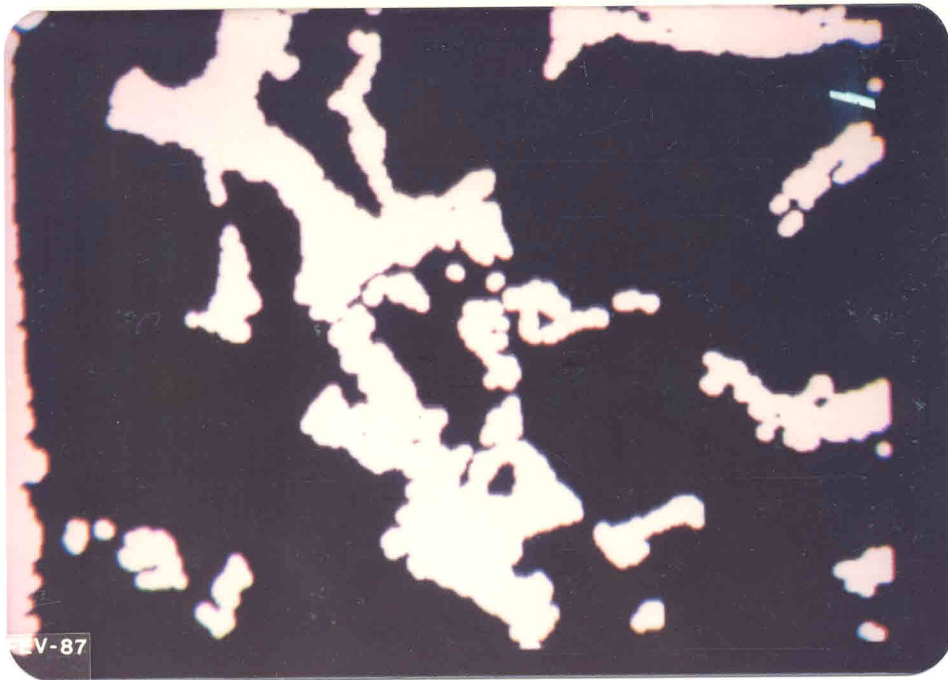


Fig. 3 - Abertura efetuada sobre a imagem da Figura 2.

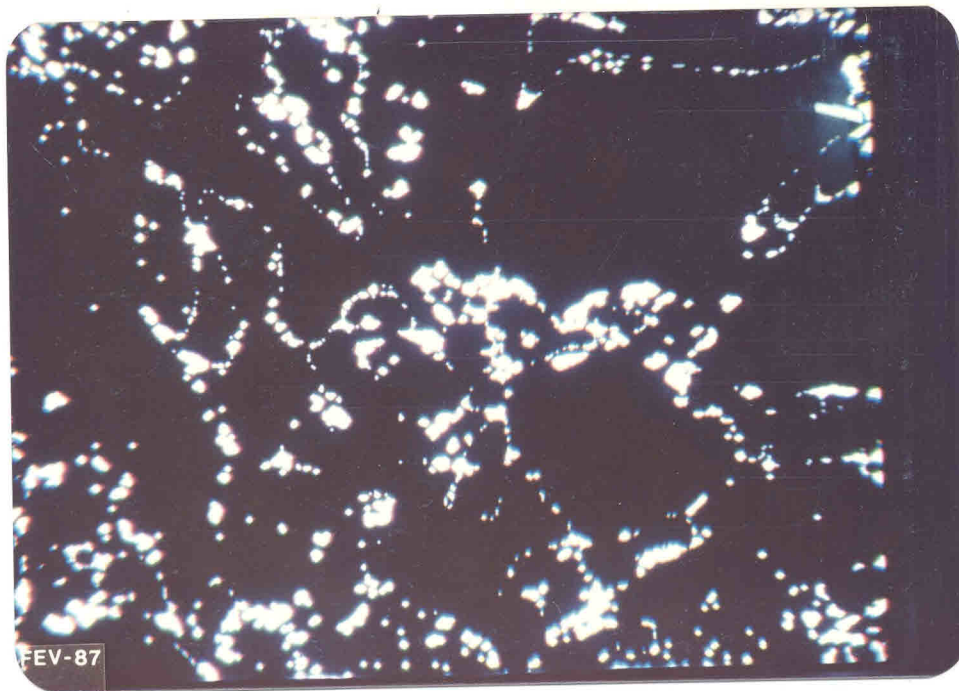


Fig. 4 - Subtração: tema homogêneo - abertura.

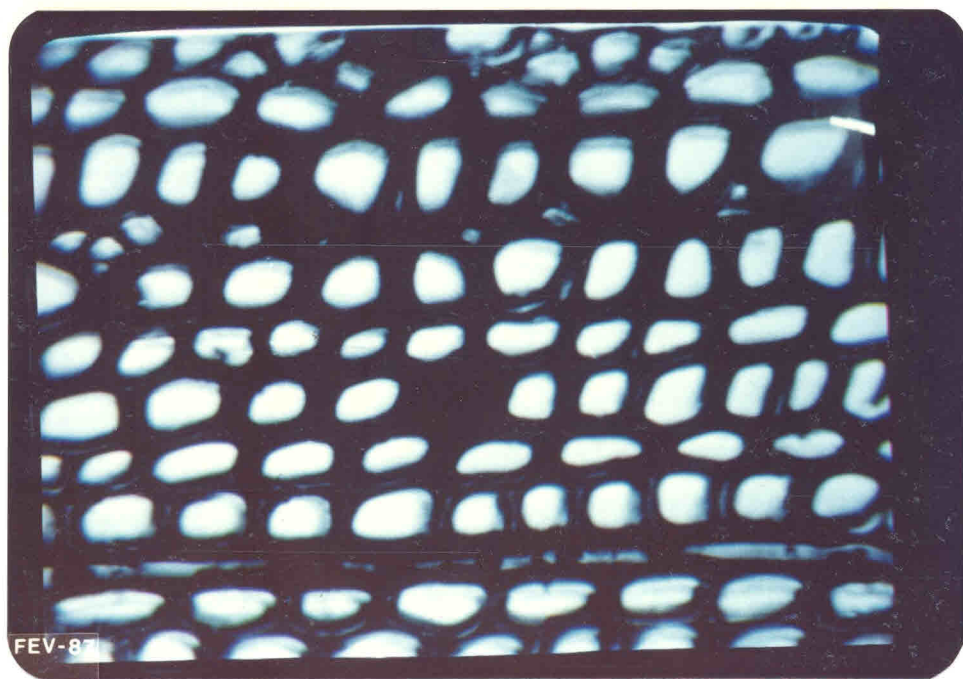


Fig. 5 - Amostra de eucalipto.

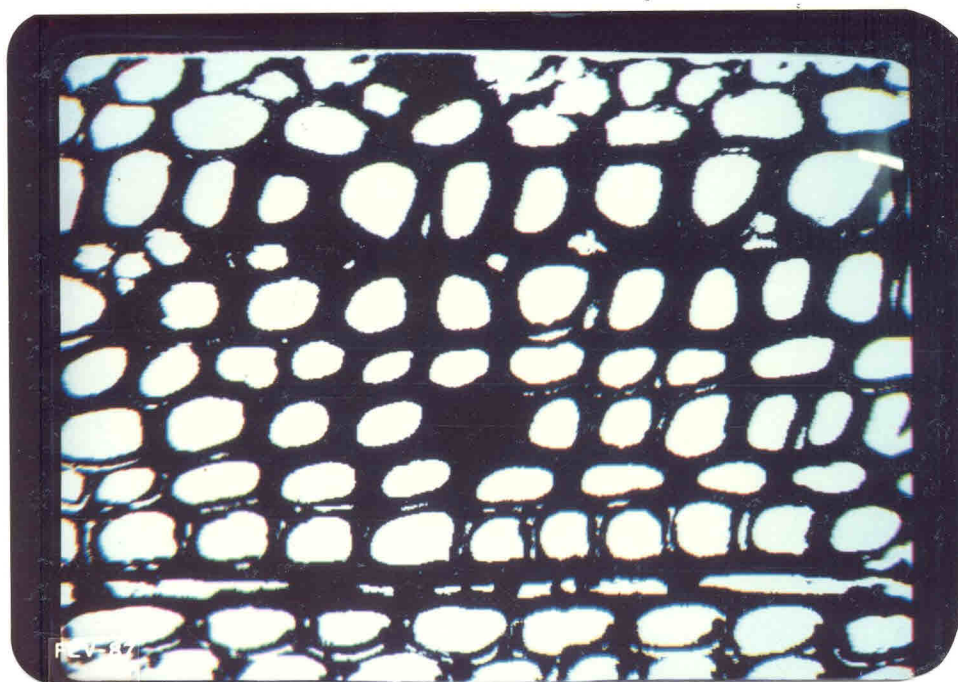


Fig. 6 - Fibras em uma amostra de eucalipto.

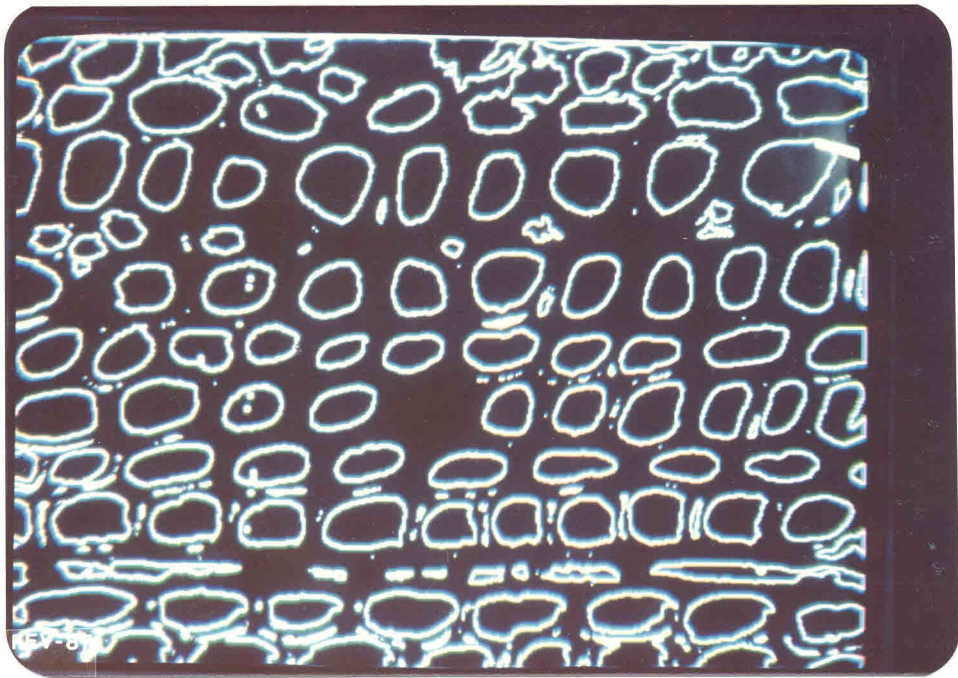


Fig. 7 - Contorno das fibras de eucalipto.

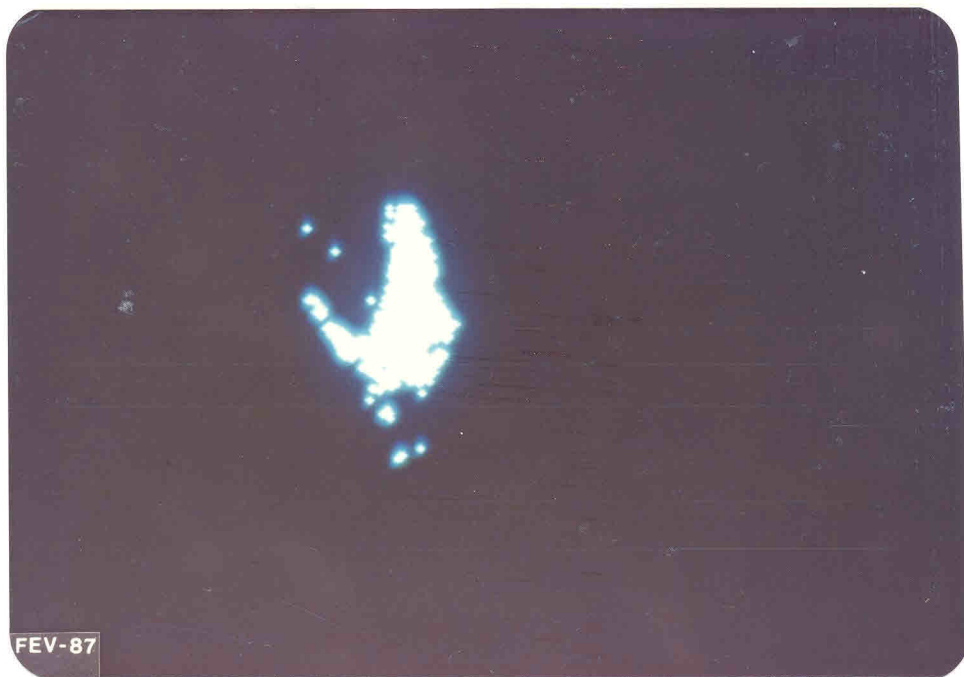


Fig. 8 - Um objeto X.



Fig. 9 - Estado de crescimento do objeto X após 20 iterações.



Fig. 10 - Estado de crescimento algumas iterações à frente.

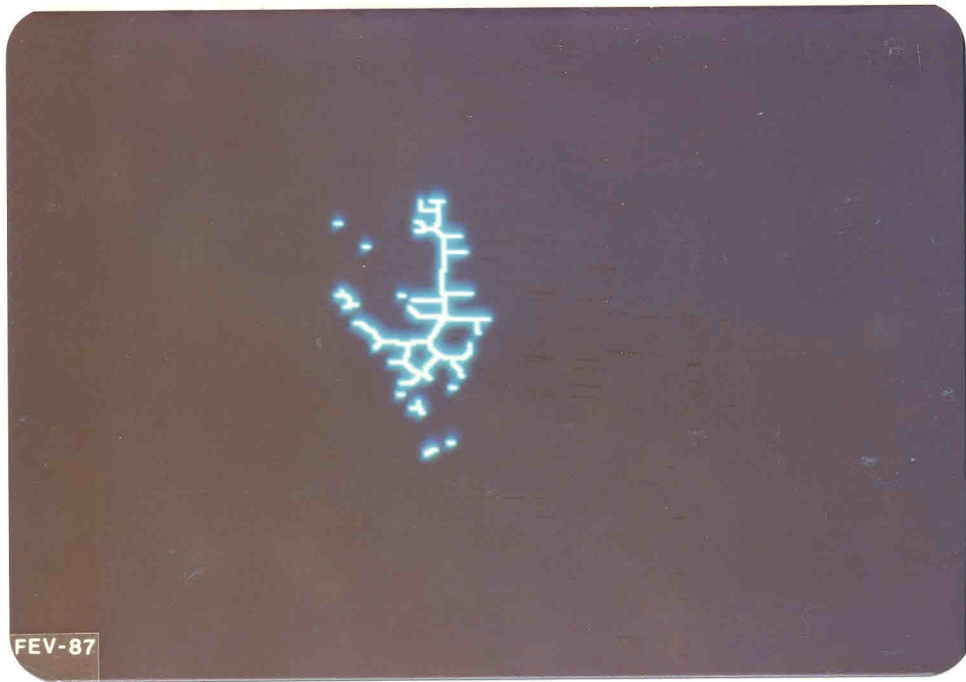


Fig. 11 - Esqueleto do objeto X.



Fig. 12 - Banda 2 do Spot.



Fig. 13 - Imagem do Spot tratada.

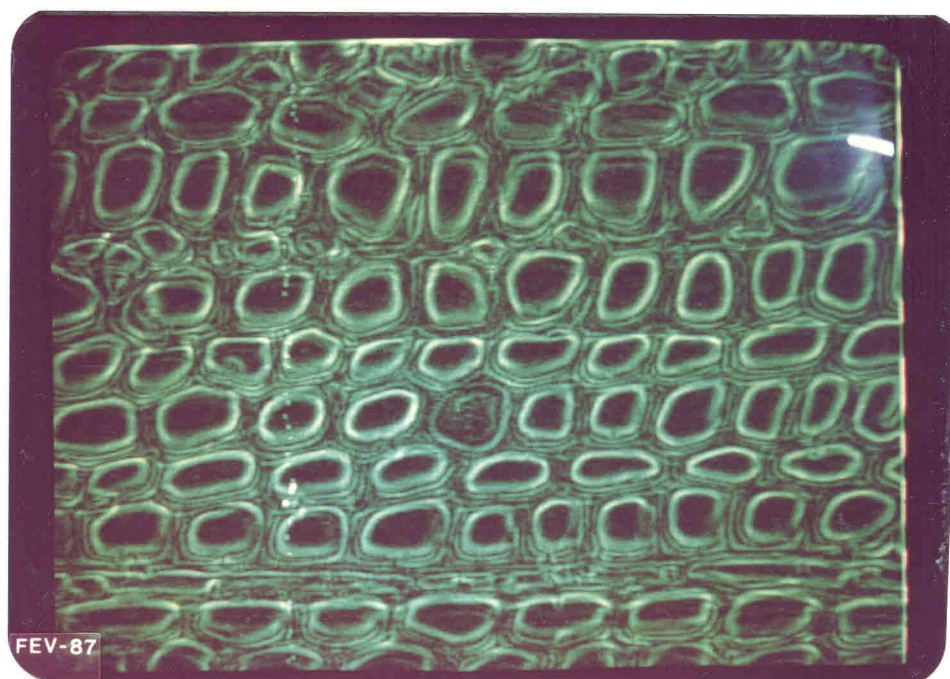


Fig. 14 - Gradiente da imagem de eucalipto.

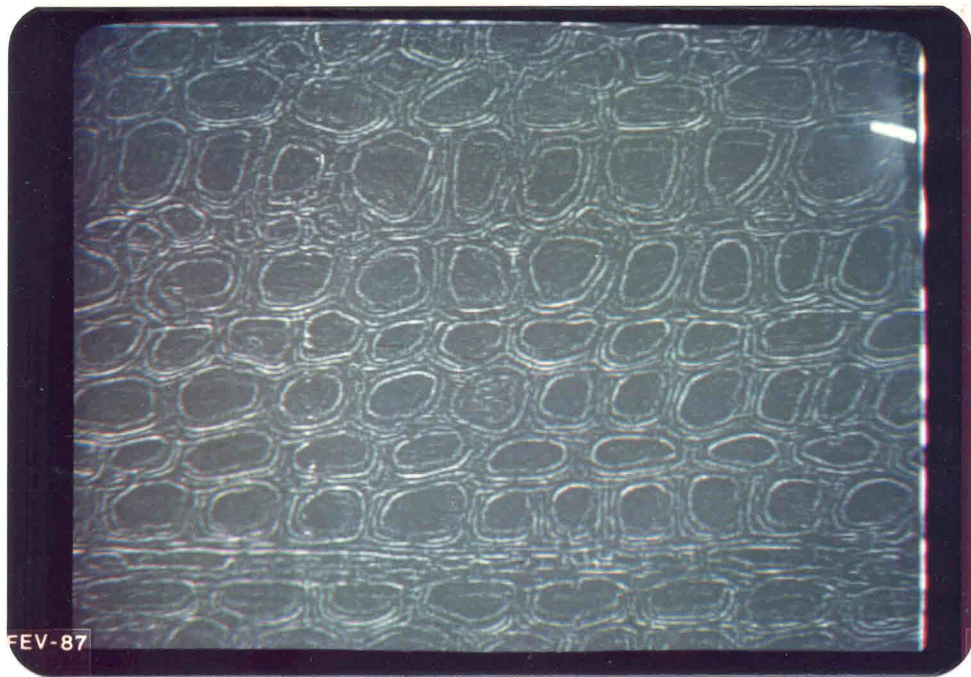


Fig. 15 - Bordas da imagem de eucalipto.