



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ANÁLISE DE IMAGENS DE RELÂMPAGOS POR MEIO DE TÉCNICA FRACTAL

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Ana Paula Santos Novaes (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: anapaula@dge.inpe.br

Dr. Odim Mendes Junior (CEA/DGE/INPE, Orientador)
E-mail: odim@dge.inpe.br

COLABORADORES

Dr. Elbert Einstein Nehrer Macau (LIT/INPE)

Junho de 2003

Sumário

1	Introdução	1
2	Conceitos Fundamentais	3
2.1	As Propriedades Elétricas da Matéria	3
2.1.1	Cargas Elétricas	3
2.1.2	Lei de Coulomb	4
2.1.3	Campo Elétrico	5
2.1.4	Características Elétricas da Matéria	9
2.2	O Fenômeno Relâmpago	10
2.2.1	A Atmosfera	10
2.2.2	Nuvens de tempestade	12
2.2.3	O Relâmpago	13
2.2.4	Líder escalonado ou canal primordial do relâmpago	15
2.2.5	Ramificação do Relâmpago	16
2.2.6	Tortuosidade do Relâmpago	17
2.3	A Teoria Fractal	17
2.3.1	Dimensão Fractal	19

3	Dados e recursos de análise	25
3.1	Dados	25
3.2	Programa de análise fractal	26
3.3	Digitalização e análise numérica	27
4	Metodologia implementada	29
4.1	Seleção de evento	29
4.2	Análise do relâmpago	29
4.3	Obtenção da Dimensão Fractal	30
4.4	Análise da luminosidade	34
4.5	Obtenção do caminho digitalizado	38
4.6	Método da divisão escalar	39
5	Conclusões	41
	Referências Bibliográficas	43
A	A ferramenta Harfa	46
A.1	Outros recursos disponíveis	48
A.2	Processo de captura de imagens	56

Lista de Figuras

2.1	Exemplo de atração e repulsão	4
2.2	Esfera condutora	6
2.3	Distribuição contínua de cargas	7
2.4	Linhas de campo elétrico	8
2.5	Camadas da atmosfera	11
2.6	Estágio de uma nuvem Cumulonimbus	13
2.7	Etapas de um relâmpagos	15
2.8	Contagem de caixas	20
2.9	Contagem de caixas	21
2.10	Divisão pelo método da salsicha	24
3.1	Imagem tratada	26
4.1	Primeira descarga	30
4.2	Figura de arbusto analisada pelo Harfa	34
4.3	Resultado da figura de arbusto	34
4.4	Resulta da Análise Dinâmica	35
4.5	Relâmpago analisado pelo Harfa	35
4.6	Resultado da figura	36
4.7	Resultado da figura pela Análise Dinâmica	36

4.8	Digitalização do relâmpago	38
4.9	Valores obtidos pela digitalização	39
A.1	Interface do Harfa	47
A.2	Figura analisada	48
A.3	Resultado da separação de cores	49
A.4	Janela de opções do Harfa	50
A.5	Separação de pixels	51
A.6	Resultado gráfico da análise fractal	52
A.7	Relâmpago utilizado na Análise Dinâmica	53
A.8	Relâmpago utilizado em análise com Harfa	54

Lista de Tabelas

4.1	Características gerais da descarga analisada.	31
4.2	Intensidade, local de ramificação e dimensão fractal da descarga analisada. . .	33
4.3	Análise da luminosidade na descarga escolhida.	37
A.1	Relação dos filtros com os valores obtidos e utilidade de cada um.	55

Resumo

O estudo da eletrodinâmica das descargas é importante para o entendimento do fenômeno relâmpago, para seu uso em aplicações gerais, e como forma de prevenir ou monitorar seus efeitos no meio ambiente, devido inclusive o risco que apresenta para as instalações de forma geral e à própria vida. O projeto de Iniciação Científica que vem sendo realizado tem por objetivo desenvolver e implementar uma metodologia de análise das descargas elétricas atmosféricas por meio da Técnica Fractal, dando maior ênfase à análise da ramificação e da tortuosidade do canal. Na fase inicial, fez-se o embasamento teórico sobre o fenômeno relâmpago, desde a formação das nuvens Cumulonimbus até a ocorrência de relâmpagos, e sobre a teoria fractal, considerando conceitos básicos na visão de vários teóricos. A seguir, procedeu-se a análise e a escolha de ferramentas de auxílio ao processo de análise fractal das descargas. Uma das ferramentas é um programa de análise baseada na técnica de contagem de caixas. Estabeleceu-se uma metodologia de análise das imagens de relâmpagos. Na fase atual do trabalho, realizam-se a aquisição de dados-exmplo para análise; aprofundamento no conhecimento da técnica fractal; e testes de análise de imagens-padrão no programa escolhido baseado na técnica de contagem de caixas. Procede-se ainda a busca de novos recursos computacionais capazes de aprimorar essas análises. A metodologia de trabalho aqui desenvolvida consiste em: (a) obter o comportamento espacial do relâmpago por meio de filmagens (gravações VHS); e proceder a captura das imagens em padrão AVI, utilizando programas computacionais de tratamento e análise gráfica; (b) separar os campos de imagens em padrão TIFF (com resolução temporal de 17,6 ms), criando uma base de dados para utilização nas análises realizadas utilizando a técnica fractal; e (c) aplicar-se a essas imagens um tratamento aqui criado, utilizando as ferramentas de análise. Esses procedimentos, e outros ainda em desenvolvimento, constituem uma metodologia para o estudo da morfologia dos relâmpagos, característica que está associada a parâmetros atmosféricos. Os resultados parciais obtidos foram o desenvolvimento de método para lidar com relâmpago, a definição dos critérios de tratamento das imagens e a obtenção de resultados quantitativos preliminares. Na fase de

prosseguimento do trabalho, tratar-se-ão eventos de descargas selecionadas para a obtenção de caracterizações fractais, considerando essencialmente a ramificação.

Capítulo 1

Introdução

Nos últimos anos, facilitado pelos avanços tecnológicos, o estudo de fenômenos atmosféricos vem aumentando devido à necessidade de prevenir prováveis desastres naturais que poderiam causar perturbações severas ao meio ambiente e prejuízos à Humanidade. Um desses fenômenos, estudados com maior extensão e profundidade na atualidade, são os *relâmpagos*, que constituem um processo de descargas elétricas na atmosfera planetária. Esse fenômeno parece ocorrer também em outros planetas, como Vênus e Júpiter. Os relâmpagos causam fascínio e medo na humanidade desde a antiguidade, sendo que vários estudiosos já se deixaram levar por sua beleza e seu mistério, empenhando em seu entendimento (MacGorman e Rust, 1998). A descoberta e o estudo de partículas ínfimas da matéria que possuem cargas elétricas, os prótons e os elétrons, possibilitaram uma compreensão fundamental da eletricidade atmosférica e sobre o que forma um relâmpago (Alonso e Finn, 1972). Dentro do assunto descargas elétricas atmosféricas, uma abordagem muito interessante de pesquisa é o estudo da morfologia das descargas, que se espera associada à física da descarga e a sua interação com a atmosfera.

Nos dias atuais, contam-se com ferramentas mais específicas e de maior precisão para efetuar tais estudos da morfologia e da eletrodinâmica das descargas. Uma dessas, ainda é pouco utilizada, é a Técnica Fractal, que permite medir e, assim, classificar com uma maior objetividade aspectos relacionados à morfologia, como a ramificação e a tortuosidade da descarga. O auxílio de computadores pessoais e programas computacionais, que foram evoluindo e ficando mais poderosos com o passar das décadas, é que tornam viáveis a solução

de problemas empregando essas técnicas, que seriam mais demoradas e complicadas sem o seu uso.

O objetivo desse trabalho é implementar uma metodologia de análise por Técnica Fractal das descargas elétricas atmosféricas e permitir, desta forma, em primeiro momento, uma análise relacionada à ramificação, e, posteriormente, à tortuosidade do canal.

Este trabalho desenvolve-se seguindo as etapas seguintes:

No capítulo 2, para embasamento físico do problema, apresentam-se considerações gerais sobre a natureza elétrica da matéria, uma revisão sobre relâmpagos e uma descrição básica sobre os fractais.

No capítulo 3, dão-se exemplos dos objetos de estudo (isto é, os dados de estudo), apresentam-se as ferramentas de análise escolhidas e descrevem-se as metodologias de análises desenvolvidas.

No capítulo 4, apresentam-se os resultados preliminares das análises feitas.

No capítulo 5, apresentam-se as conclusões preliminares do trabalho, que serão estendidas, verificadas e redigidas de forma mais conclusiva com a continuidade do trabalho de pesquisa.

Capítulo 2

Conceitos Fundamentais

O estudo de relâmpagos requer embasamento teórico e treino em ferramentas que devem ser utilizadas. Para o embasamento teórico, apresentam-se os aspectos principais sobre o que é o campo elétrico e quais suas propriedades (Serway, 1996; Alonso e Finn, 1972), que servirão de base para o entendimento da eletrodinâmica planetária, já que a atmosfera possui natureza elétrica intrínseca e, como se sabe, os relâmpagos constituem-se de cargas elétricas em sua ocorrência (Mendes e Domingues, 2002; Saba, 1997). Também são apresentados aspectos da teoria fractal, utilizada como ferramenta no estudo das ramificações e da tortuosidade das descargas, permitindo dar objetividade a análise.

2.1 As Propriedades Elétricas da Matéria

2.1.1 Cargas Elétricas

A matéria constitui-se de partículas eletricamente carregadas. Essas partículas foram chamadas de elétrons - que possuem cargas negativas, simbolizada pela letra e , que possui uma massa de valor $9.1095 \times 10^{-31} \text{ kg}$ e carga elétrica de $-1.6021917 \times 10^{-19}$; os prótons, que possuem cargas positivas simbolizada pela letra p , possuindo uma massa de $1.67261 \times 10^{-27} \text{ kg}$ e carga elétrica de $+1.6021917 \times 10^{-19}$; sendo que os nêutrons, com massa de $1.67492 \times 10^{-27} \text{ kg}$ não possuem cargas. A descoberta dessas partículas se deu após vários experimentos realizados por cientistas, que chegaram a conclusão sobre essas propriedades da matéria. Um exemplo

clássico que pode ser mostrado é a fricção de um bastão de vidro em tecido tipo seda, onde há a geração de um pequeno campo elétrico, capaz de atrair pequenos corpos, como pedacinhos de papel, por exemplo (Serway, 1996). Se houvesse necessidade de atração de corpos maiores (mais pesados), ter-se-ia que gerar um campo mais potente (Serway, 1996; Alonso e Finn, 1972). Na figura 2.1, pode-se exemplificar um caso como o acima mencionado, em que são utilizados bastões de borracha e vidro, mostrando a atração de um bastão de borracha, que possui carga negativa, por um bastão de vidro, que possui carga positiva, e mostra também um bastão de borracha com carga negativa, sendo repelido por outro bastão de borracha também com carga negativa.

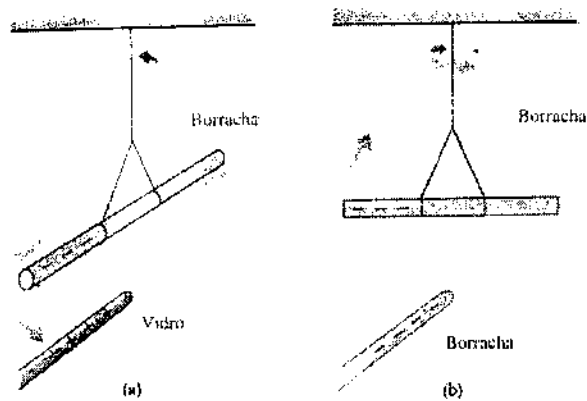


Figura 2.1: Exemplo de atração e repulsão.

FONTE: Serway (1996)

As carga mencionadas acima atraem-se quando possuem sinais opostos e repelem-se quando possuem sinais iguais. A carga não é criada no universo, ela já existe em diversos corpos, podendo apenas ser transferida de um corpo a outro. Por meio de vários métodos, que não serão vistos neste trabalho, pode-se demonstrar que a carga total se conserva.

2.1.2 Lei de Coulomb

Entre duas partículas eletricamente carregadas existem forças inter-atuantes. Um pesquisador chamado *Coulomb* estudou como são essas forças e estabeleceu uma lei para sua atuação (Alonso e Finn, 1972). Essa lei ficou conhecida como *Lei de Coulomb* e que é muito usada em

cargas puntiformes. Essa lei estabelece que:

- A força é inversamente proporcional ao quadrado da separação espacial, r , entre uma partícula e outra e atua ao longo da reta que as une;
- A força é proporcional ao produto das cargas q_1 e q_2 ;
- A força é atrativa se as cargas tiverem sinais opostos e repulsivas se tiverem mesmo sinal.

Com base nesta lei, a força de Coulomb é formulada como:

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}_{12}, \quad (2.1)$$

em que permissividade elétrica no vácuo é $\epsilon_0 = 8.85442 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$, sendo C a unidade em Coulomb.

2.1.3 Campo Elétrico

Uma carga faz atuar sobre uma carga de prova qualquer, em um ponto do espaço, uma força elétrica. Ao agente físico nessa região do espaço ao redor da carga de prova, que produz essa força de interação, dá-se o nome de Campo elétrico, indicado pela letra \vec{E} , que é de natureza vetorial. A unidade de medida da grandeza \vec{E} é o N/C (Newtons por Coulomb). O sentido da força \vec{F} no campo é de acordo com o sinal da carga (q). Se q é positivo, \vec{F} tem o mesmo sinal do campo; se é negativo, possui sentido oposto ao do campo. A direção é ao longo da linha que une o centro elétrico da carga ao ponto no espaço.

Para calcular o campo elétrico, é utilizada a fórmula:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (2.2)$$

Essa fórmula é utilizada para calcular um campo elétrico, atuando em uma carga de prova, admitindo que esta seja bem pequena de modo a não perturbar a distribuição de cargas em sua volta, que é responsável pelo campo elétrico. Por exemplo, se uma prova de carga muito pequena q for colocada nas vizinhanças de uma esfera uniformemente carregada, como mostra

a figura 2.2, a carga sobre a esfera metálica, que provoca o campo elétrico, permanecerá uniformemente distribuída.

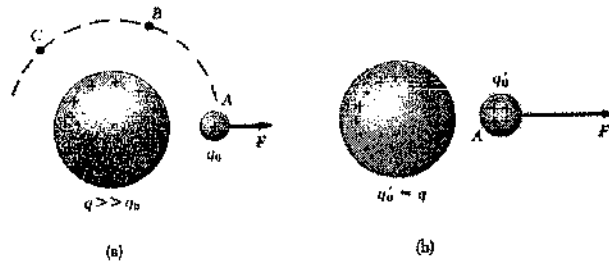


Figura 2.2: Esfera condutora: (a) esfera condutora em que a carga permanece uniforme (b) esfera condutora deixa de ser uniforme

FONTE: Serway (1996)

Quando houver a carga de prova q_0 , sendo muito grande em relação ao tamanho das cargas distribuídas que estão gerando o campo elétrico (distribuição contínua de cargas), deve-se admitir que haverá mudança no campo elétrico, surgindo um vetor unitário \vec{v} que dirige-se de uma carga q para uma carga q_0 , dentro do campo elétrico. Devido a essa mudança, o vetor unitário pode ser expresso por:

$$\vec{E} = K \frac{q}{r^3} \vec{r} \quad (2.3)$$

Para calcular o campo elétrico de um grupo de cargas, é necessário fazer a soma vetorial de todas as cargas. Isto pode ser obtido pela expressão:

$$\vec{E} = \sum_i \frac{q_i}{r_i^3} \vec{r}_i \quad (2.4)$$

Em algumas situações, as cargas podem estar muitas juntas, então admite-se que elas estão distribuídas continuamente. Para calcular uma distribuição contínua de cargas, procede-se da seguinte maneira: divide-se a carga em pequenos pedaços, que se chama de Δq , em seguida, aplica-se a lei de Coulomb a esta pequena parte, e calcula-se o campo elétrico:

$$\Delta \vec{E} = K \frac{\Delta q}{r^3} \vec{r} \quad (2.5)$$

Com o campo total dado pela equação:

$$\vec{E} \approx \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^3} \vec{r} \quad (2.6)$$

Se a separação entre os elementos de carga for pequena, a distribuição pode ser considerada contínua. Então podemos adotar a equação que é a soma de Riemman, resultando na integral:

$$\vec{E} = \lim_{\Delta r \rightarrow 0} K \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^3} \vec{r} = K \int \frac{dq}{r^3} \vec{r} \quad (2.7)$$

O campo elétrico de uma distribuição contínua de cargas é a soma vetorial de todos os elementos de carga Δq da distribuição de cargas (Serway, 1996), que pode ser exemplificado pela figura 2.3.

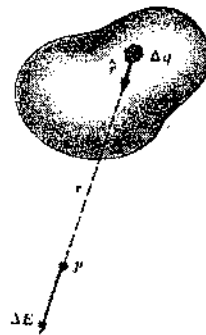


Figura 2.3: Distribuição contínua de cargas.

FONTE: Serway (1996)

Essas distribuições de cargas poderão estar sobre uma linha, sobre uma superfície ou em um volume. Para efetuar os cálculos, será necessário utilizar o conceito de densidade de carga, usualmente convencionada como ρ . Se o caso for uma linha de comprimento, então sua densidade será:

$$\rho = \frac{Q}{l}; \quad (2.8)$$

se for uma superfície, será dado por:

$$\rho = \frac{Q}{A}; \quad (2.9)$$

e, por fim, se tivermos um volume, a densidade será:

$$\rho = \frac{Q}{V}. \quad (2.10)$$

Já as linhas de campo elétrico são uma abstração que auxilia, na forma de diagramas, a visualização da configuração de um campo elétrico. A sua construção possui todo um padrão, que corresponde ao tipo de campo e do sinal da carga deste campo. É constituído por linhas, que apontam na mesma direção do campo elétrico (Serway, 1996; Alonso e Finn, 1972). A figura 2.4 pode mostrar o exemplo de linhas de campo elétrico de uma carga puntiforme, sendo que:

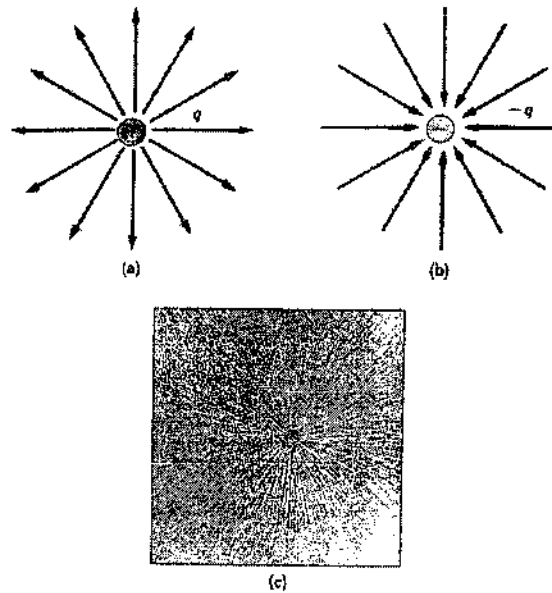


Figura 2.4: Linhas de campo elétrico

FONTE: Serway (1996)

- As linhas partem das cargas positivas, e terminam em cargas negativas,
- O número de linhas, que saem de uma carga positiva ou que chegam em uma carga negativa, é proporcional ao módulo da carga;
- Não há cruzamento de linhas de campo.

- O campo é contínuo, existindo em todas as distâncias.

Este modo de visualizar serve para ilustrar como seria um campo elétrico, já que sua construção seria bem mais detalhada.

2.1.4 Características Elétricas da Matéria

A matéria, em geral, pode ser condutora de eletricidade ou não. De acordo com essas propriedades, os materiais podem ser classificados em condutores, isolantes e dielétricos (Serway, 1996). Os materiais condutores são aqueles que conduzem bem a energia elétrica. Alguns exemplos de materiais condutores: água com sais, cobre, e a maioria dos metais que encontramos na natureza. Já os materiais que são isolantes, não conduzem energia elétrica. Alguns exemplos que se pode citar são a cortiça, a madeira, a goma-laca, o vidro, entre outros. Em meio a esses dois tipos de materiais, encontra-se, os dielétricos, que constituem uma terceira classe de materiais, eles não são bons condutores, mas também não isolam completamente.

Essas propriedades da matéria podem ser aplicadas à atmosfera (Mendes e Domingues, 2002). O ar que está presente na atmosfera pode ser considerado um meio condutor de eletricidade sendo assim um condutor. É através do ar que as partículas carregadas eletricamente (tanto partículas positivas quanto as negativas) são transportadas da nuvem para o solo e vice-versa, de uma nuvem para outra, e até dentro da própria nuvem. O ar é também responsável pela separação de cargas dentro de uma nuvem, colocando, por mecanismos variados, a grosso modo, as positivas no topo e as negativas na parte baixa. Outra matéria presente na atmosfera que possui propriedade elétrica condutora é a água, tanto em forma líquida quanto na forma congelada contribuindo para a eletrodinâmica atmosférica. Pode-se dizer que na água, no seu estado congelado, é que ficam armazenadas as partículas carregadas eletricamente transportadas e separadas pelo ar.

2.2 O Fenômeno Relâmpago

2.2.1 A Atmosfera

A atmosfera terrestre, em termos de temperatura, é formada por quatro camadas distintas (Richard e Walker, 1975). Cada uma possui uma propriedade e um modo de se comportar, que será visto a seguir.

- **TROPOSFERA:** é camada inferior da atmosfera; sua temperatura cresce cerca de 6.5°C por km; possui uma espessura média de 12km de altura, nos pólos este valor fica reduzido a 9km e na linha do equador aumenta para 16km. É na troposfera que ocorre a formação de nuvens de precipitação.
- **ESTRATOSFERA:** é a parte da atmosfera em que a temperatura se mantém constante por cerca de 20km acima da troposfera, e aumenta após esta distância, até uma altura de 50Km. Nesta região, há absorção de raios ultravioletas pelo ozônio, o que causa o aquecimento da Terra.
- **MESOSFERA:** é a parte da atmosfera em que a temperatura volta a diminuir cerca de 50km a 90km de altitude.
- **TERMOSFERA:** é a região da atmosfera em que a temperatura volta novamente a aumentar. Esta camada encontra-se a partir de 90km de altitude. O aumento da temperatura resulta da absorção da radiação solar por átomos de oxigênio e nitrogênio. A figura 2.5 mostra as três divisões da atmosfera.

Quanto à propriedade elétrica, existem dois tipos de atmosfera: a quase neutra, que é pouco ionizada, e a ionosfera (altitude 70km), que possui alta densidade elétrica, já que, experimentalmente, comprova-se que a atmosfera possui, em sua formação, partículas eletricamente carregadas. Existem várias maneiras da atmosfera se tornar ionizada. Um tipo de ionização que é conhecido é a ionização por materiais radioativos, que ionizam a atmosfera próxima ao solo, pois estes materiais liberam raios betas e gama. Já acima do solo, nos primeiros 100m, o gás radônio emitindo partículas alfa constitui a principal fonte ionizadora do ar. Outra fonte de ionização considerável é realizada pelos raios cósmicos galácticos, cuja

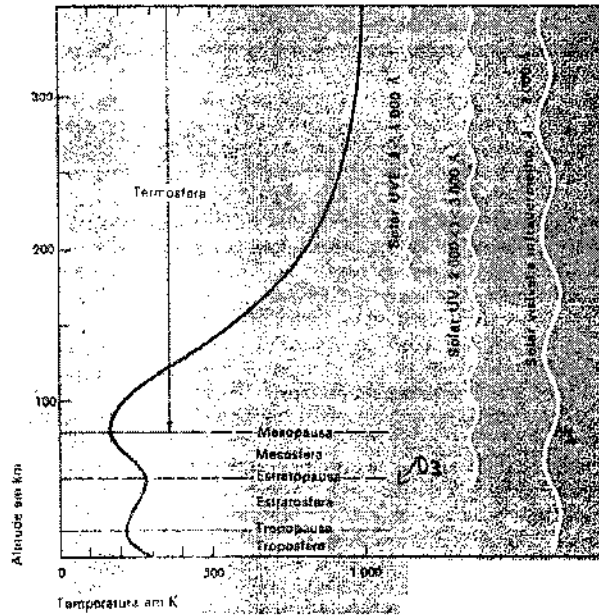


Figura 2.5: Camadas da atmosfera

FONTE: Goody e Walker (1975)

ionização é máxima em torno de 100km de altura. Esses fatores contribuem para manter um ambiente elétrico ao redor da Terra.

Dizemos que o campo elétrico é de tempo bom quando não há perturbação em sua direção, que é vertical e para baixo, ou seja, quando não há interferência gerada pela eletrificação das nuvens de tempestade (Saba, 1997).

Foram desenvolvidas várias idéias a respeito da condução elétrica na atmosfera. Uma dessas hipóteses representa a ionosfera (fronteira superior), a atmosfera (meio dielétrico) e a superfície da Terra (fronteira inferior) como um enorme capacitor elétrico. As tempestades seriam os geradores que forneceriam corrente elétrica suficiente para manter as cargas elétrica nessas superfícies. Esse campo elétrico atmosférico é predominantemente vertical (Mendes e Domingues, 2002).

2.2.2 Nuvens de tempestade

As nuvens Cumulonimbus, vulgarmente denominadas nuvens de tempestade, são formadas por gotículas de água e gelo, que estão suspensas na atmosfera. Elas distinguem-se entre si pelo seu tamanho, pela sua grande extensão vertical e por apresentarem fortes correntes verticais de ar. Podem também ser de dois tipos: isoladas, também conhecidas como locais, ou convectivas que formam tempestades organizadas, sendo estas mais intensas, como por exemplo os sistemas convectivos de meso-escala. Dentro dessas nuvens existem cargas elétricas assim como na atmosfera. De estudos realizados, verifica-se que na parte superior dentro de uma nuvem estão as cargas positivas e na parte inferior estão situadas as negativas. O transporte destas partículas dentro da nuvem é feito por correntes de ar. Há ainda um terceiro centro de cargas abaixo do centro negativo, ainda que pouco estudado, mas provavelmente criado a partir da captura de íons do ar ascendente pela nuvem. Esses três centros formam uma estrutura tripolar, caracterizando a distribuição básica das cargas dentro da nuvem (Mendes e Domingues, 2002).

Por mecanismos de convecção e precipitação, uma nuvem Cumulonimbus faz a separação de cargas e altera o campo elétrico de tempo bom. Esse tipo de nuvem possui três estágios diferentes de formação e evolução, que são:

- Estágio cúmulos: é o estágio de crescimento da nuvem, que é ocasionado por suprimento de ar úmido;
- Estágio maduro: estágio onde as gotas de água já estão bastante grandes e pesadas e a corrente ascendente que existe já não conseguem mais suportar o peso, havendo assim a precipitação;
- Estágio dissipativo: há a dissipação da nuvem decorrida da ocorrência de correntes descendentes e ventos para baixo.

A figura 2.6 mostra os estágios de uma nuvem Cumulonimbus. O estágio maduro de uma Cumulonimbus pode ser considerado seu período de maior atividade, onde costuma ocorrer o fenômeno do relâmpago. Um relâmpago geralmente surge de uma nuvem do tipo Cumulonimbus, porém o relâmpago pode originar-se de outros mecanismos de separação de

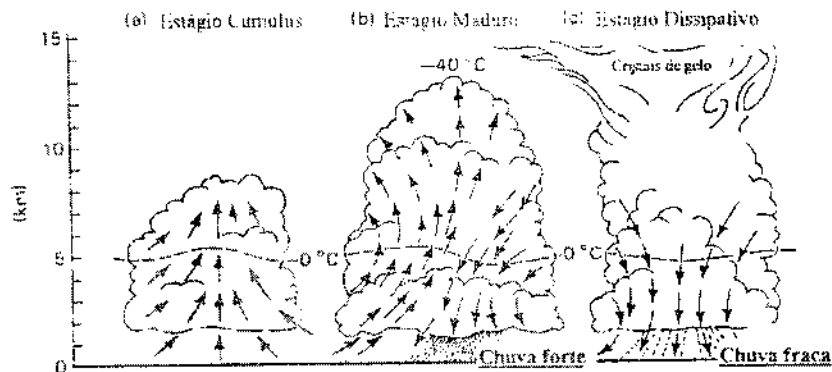


Figura 2.6: Estágio de uma nuvem Cumulonimbus.

FONTE: Lutgens e Tarbuck (1982)

cargas, tais como tempestades de areia, tempestades de neve e explosões nucleares (Mendes e Domingues, 2002)

2.2.3 O Relâmpago

Relâmpago é a descarga elétrica originada, em geral, nas nuvens Cumulonimbus, neutralizando cargas elétricas acumuladas, que podem ser positivas e negativas. Já as descargas podem caracterizar três tipos de relâmpagos de acordo com a polaridade das descargas: positivo, negativo e bipolar. A ocorrência do relâmpago se dá quando o campo elétrico dentro da nuvem se torna tão intenso que quebra a rigidez dielétrica do ar, que é de aproximadamente 400km/V . Este campo elétrico é gerado pela presença de cargas positivas e negativas dentro da nuvem (Mendes e Domingues, 2002; Gin, 1992).

Existem vários tipos de relâmpagos: nuvem-solo, solo-nuvem, intranuvem, relâmpagos de nuvem de tempestade para cima, e ainda outros tipos com menos importância como relâmpago fita, o tipo cadeia (ou colar) e o tipo bola. O relâmpago nuvem-solo é mais enfatizado, pelo perigo que oferece no cotidiano na superfície. Este ainda pode ser positivo, negativo e bipolar. Os relâmpagos positivos foram considerados mais raros, embora pesquisas recentes mostrem que não são tão raros assim. Fatores como altitude das cargas positivas próximas ao topo das nuvens e a variação da velocidade dos ventos horizontais com a altura podem influenciar em

sua ocorrência (Mendes e Domingues, 2002; Takagi et al., 1986).

Este tipo de relâmpago transfere cargas positivas próxima ao topo da nuvem para o solo. Eles são os mais associados a incêndios em florestas, conforme estudos realizados por pesquisadores dos EUA. Os relâmpagos descendentes negativos transferem cargas negativas da região de cargas negativas dentro da nuvem para o solo. A maioria dos relâmpagos nuvem-solo, cerca de 90%, é negativa. E, por fim, temos os bipolares, que transferem cargas de ambos sinais para o solo e originam-se em regiões de separação de cargas dentro da nuvem.

Um relâmpago, ao ocorrer, apresenta etapas (Mendes e Domingues, 2002; Uman, 1987) distintas, descritas a seguir. Em primeiro lugar, parece ocorrer uma pré-descarga localizada, não necessariamente visualizável, e surge o canal da descarga, que é denominado de líder escalonado. Ele é pouco perceptível a olho nu, sendo que às vezes, nem chega a ser percebido. É um canal ionizado, que procura o melhor caminho para descarregar suas partículas elétricas. Geralmente se dirige em direção ao solo, possui um movimento tortuoso e é através dele que irão ocorrer outras várias descargas, utilizando seu canal. Possui fraca intensidade luminosa. Em seguida, próxima a superfície (aproximadamente 100 metros) há uma intensificação do campo elétrico entre a parte frontal do líder escalonado e um ponto do solo. Essa intensificação dá origem à descarga conectante. Esta descarga parte de algum objeto do solo (exemplo: árvore) e segue em direção ao líder escalonado. Quando esta descarga conecta-se ao líder escalonado, cria-se um pulso de sinal elétrico, transforma-se em uma descarga forte e com intensa luminosidade, que é denominada de descarga de retorno. Pode-se dizer que em média ocorrem três descargas de retorno por relâmpago. Após a descarga de retorno inicial, a seguir a um intervalo de tempo (valor típico de 40 microssegundos), pode ocorrer uma outra descarga que, em geral, não se caracteriza por ramificação. Essa descarga é denominada de líder contínuo. Ela pode repetir-se após pequeno intervalo de tempo (em geral, menor que 500 microssegundos). Sobrepostas a elas, outras descargas podem caracterizar-se, mas que parecem ser de menor intensidade. A figura 2.7 mostra as várias etapas de um relâmpago. Então podemos concluir que ocorrem n descargas até que todas as cargas negativas ou positivas, dependendo do tipo da descarga, sejam extraídas da nuvem.

Neste estudo, dar-se-á mais ênfase ao líder escalonado ou canal, primordial da descarga. Essa é a descarga inicial, e como geralmente não pode ser visto a olho nu, é fotografado e

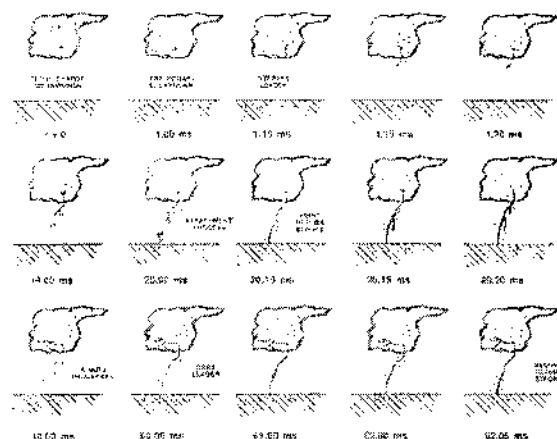


Figura 2.7: Etapas de um relâmpago.

FONTE: Uman (1987)

filmado por câmeras especiais para que seja estudado. Este canal também estabelece o trajeto que o relâmpago irá realizar.

2.2.4 Líder escalonado ou canal primordial do relâmpago

Tem-se da constatação experimental que o líder escalonado ocorre em passos através do ar, em um trajeto irregular, ao longo do qual, em geral, ocorrem as descargas de relâmpago (Mendes e Domingues, 2002; Uman, 1987).

Quando começa o processo do relâmpago, consequência da ruptura dielétrica dentro da nuvem, devido à separação e ao acúmulo de cargas, uma série de elétrons é deslocado para a base da nuvem, depois para o ar circundante e, então, para o solo. Assim que os elétrons saem da nuvem, colidem com moléculas de ar, que a ionizam e produzem um canal condutor, facilitando o trajeto para outros elétrons.

Esse líder escalonado é muito indistinto e geralmente não bem resolvido a olho nu. Assim que a ponta do líder escalonado aproxima-se do solo (uns 100 metros), uma corrente de carga contrária emerge de um ponto no solo, em geral mais ressaltado ou saliente, e encontra-se com o líder escalonado. Com esse encontro, um número maior de descargas dirige-se para o solo, já associado a maior luminosidade e maior intensidade de corrente elétrica, estas descargas

são chamadas de descargas de retorno, que produz a luz de maior intensidade de que se vê em um relâmpago. Essas etapas são muito rápidas, ocorrendo em intervalos de dezenas de milésimos de segundos, e por isso não resolvidas facilmente a olho nu. Em seguida, pode ocorrer o processo de líder contínuo, que são as mais descargas que ocorrem utilizando o mesmo canal ionizado inicial. O líder contínuo é vagamente perceptível a olho nu, pois faz-se com um acréscimo de luz. Geralmente, em um mesmo canal de relâmpago ocorrem demais descargas repetidamente. À medida que as cargas do líder propagam-se ao longo do canal rumo ao solo, variações do campo elétrico e também magnético são produzidas. Ao todo, um líder escalonado transporta 10 ou mais Coulombs de carga e alcança um ponto perto do solo em dezenas de milissegundos, dependendo da tortuosidade de seu caminho. A corrente média do líder escalonado é cerca de 1 kA e é transportada em um núcleo central do canal com alguns centímetros de diâmetro. As cores de um relâmpago podem variar de acordo com o estado da atmosfera, podendo, além da cor branca, ser amarelo, roxo, laranja ou mesmo verde. Outra característica que presente no líder escalonado é ramificação e a tortuosidade, que serão melhor descritas adiante. A ramificação e a tortuosidade apresentadas no canal ionizado da descarga são os objetos de estudo deste trabalho, pois essas características associam-se, ainda de uma forma não bem explorada, às características eletrodinâmicas da atmosfera.

2.2.5 Ramificação do Relâmpago

A ramificação do relâmpago consiste em mais uma característica deste fenômeno, até o presente momento pouco explorada, e receberá contribuição deste trabalho. Ao longo do caminho do líder escalonado, algumas cargas elétricas desprendem-se do canal do relâmpago e seguem novos caminhos devido à influência de cargas presentes na atmosfera ao redor do canal. Estas cargas desprendidas formam a ramificação do canal, que são vistas nos relâmpagos. Logo abaixo das nuvens Cumulonimbus, pode-se observar uma ramificação mais concentrada, que é denominada de alimentadora do canal (Borovsky, 1998). As ramificações do canal, em geral, não tocam o solo e não apresentam o forte brilho que pode ser visto no canal ou líder escalonado. A causa deste fato deve-se a menor presença de elétrons passando através das ramificações do que através do líder. Logo, as ramificações são formações que se separam do trecho principal, o líder escalonado. Outra característica da ramificação do relâmpago é a

dissipação de energia eletrostática. Esta energia é utilizada pela ramificação para formação e aquecimento do mesmo. A ramificação possui menor orientação vertical que o líder, seguindo uma trajetória mais horizontal. Também pode-se verificar um comprimento menor do que o do canal (Borovsky, 1998). Segundo um estudo realizado por Lupò et al. (2000), verificou-se que há também um espaço eletromagnético ao redor da ramificação de um relâmpago. Para determinar o valor da dimensão deste espaço eletromagnético, foi utilizada a técnica fractal, em que o valor obtido para sua dimensão foi de aproximadamente 2,16 (neste caso, a solução refere-se a uma resolução 3D). O valor citado de dimensão foi obtido a partir do método de contagem de caixas, que será melhor apresentado na Seção 2.3.

2.2.6 Tortuosidade do Relâmpago

A tortuosidade do relâmpago está ligada ao desenvolvimento do canal da descarga, sendo a tortuosidade produzida pela variação da direção de propagação e, em geral, com variação do comprimento do passo canal. Hill (1968) verificou que a medida do segmento do canal de um relâmpago nuvem-solo está entre 5 a 70 metros de comprimento, em que mudanças de sentido para segmentos sucessivos parecem distribuídas aleatoriamente e independentes do comprimento. A mudança da direção do canal possui a média com valor absoluto de 16° , aproximadamente. Associado com a tortuosidade, encontra-se o Espaço Eletromagnético, em que a tortuosidade causa certos efeitos na dimensão do espaço eletromagnético ao redor do relâmpago. A fim de caracterizar o espaço eletromagnético, a técnica fractal foi empregada com o objetivo de calcular a dimensão deste espaço. O valor encontrado foi de aproximadamente 1.522 (Lupò et al., 2000).

2.3 A Teoria Fractal

Usualmente, depara-se com uma geometria que trabalha com formas regulares, que possuem dimensões definidas e inteiras. Tal geometria é chamada de Euclidiana, pois foi estudada e formulada por Euclides. Na geometria Euclidiana, um ponto possui dimensão zero, uma reta tem dimensão um e um plano, que contém dois eixos como x e y , possui dimensão dois. Mas pode-se observar que, na natureza principalmente, não existem formas regulares, para as

quais usava-se no cálculo a geometria tradicional. Essas formas naturais são fragmentadas, com perímetros irregulares. Partindo dessas características, por meio de análises inovadoras, chegou-se a novas abordagens na geometria, criando a Teoria Fractal (Takayasu, 1990; Ferrara e Prado, 1995; Gleick, 1990).

A discussão sobre os fractais começou por volta de 1830. Desde essa época, estudiosos como matemáticos e outros cientistas, tentam explicar e entender o que são fractais. Dentre esses mestres, podemos citar Von Koch, Georg Cantor e Sierpinski. Von Koch criou em seus estudos a teoria do floco de neve, em que por meio de um segmento de reta, são construídos triângulos de modo que não exista uma tangente os tocando, mostrando que a divisão em perímetro é infinita. Georg Cantor (1845-1918) também formulou vários exemplos para explicar o conceito de fractal (Ferrara e Prado, 1995; Gleick, 1990)

Exemplo que pode ser citado é a conhecida Poeira de Cantor, em que a partir de um segmento de reta, com dimensão igual a um, faz-se divisões, em três partes, retirando-se o terço médio, e prosseguindo assim com as partes restantes, surgindo no final a Poeira. Segundo Soares (2002), Cantor provou também em suas investigações que a reta R tem o mesmo cardinal que o plano R^2 , colocando em causa o seu conceito de dimensão. Waclaw Sierpinski (1822-1969) desenvolveu duas estruturas fractais, o Carpete de Sierpinski e o Triângulo de Sierpinski. O Carpete de Sierpinski foi gerado dividindo-se um quadrado em 9 partes auto-similares e retirando o quadrado central, sendo que essa operação repete-se em cada um dos 8 quadrados restantes, tendendo ao infinito. O Triângulo de Sierpinski é dividido em quatro partes auto-similares formadas a partir do ponto médio de cada lado e com retirada do triângulo central. Repete-se essa operação em cada um dos triângulos restantes, tendendo o infinito. Na época em conceitos foram formulados e publicados, esse conceitos não eram bem aceitos entre a comunidade científica, sendo que não foi dado muito crédito aos cientistas que os produziam. Porém com o passar do tempo, um pesquisador, que era pouco conhecido na época, fez ressurgir as teorias que falavam sobre "fractal". Na década de 70, este pesquisador, chamado Benoit Mandelbrot, definiu de uma forma mais ampla todas as hipóteses que haviam sido formuladas anos atrás. Esse pesquisador passou a ser conhecido como pai dos fractais, sendo autor dos conceitos mais recentes sobre o assunto. Em seu livro, publicado sobre o assunto, ele começa com a seguinte citação: "Montanhas não são cones; nuvens não são

esferas; os cães não latem regularmente; nem os raios caem em linha reta". Essa forma de pensar abre todo um campo de investigações científicas de fenômenos aparentemente usuais (Soares, 2002).

2.3.1 Dimensão Fractal

Dimensão de Hausdorff

Como já foi visto anteriormente, dimensão Fractal pode ser caracterizada como uma dimensão de objetos que possuem formas irregulares e atendem a propriedades específicas, como a auto-similaridade (propriedade em que um fragmento retirado de uma porção maior mostra as mesmas propriedades dessa porção maior). Para entender melhor este conceito, pode-se utilizar o teorema formulado pelo alemão Felix Hausdorff (1918) que definiu melhor a dimensão fractal. Para maior entendimento, considera-se o seguinte enunciado (Ferrara e Prado, 1995): dado um conjunto A composto por vários pontos, que está contido em um espaço p , recoberto por cubos que possuem lados ϵ , define-se a Dimensão de Hausdorff ou Dimensão Fractal como:

$$D_0 = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\epsilon)}{\log(\frac{1}{\epsilon})}. \quad (2.11)$$

Essa expressão é utilizada tanto em cálculos de dimensão inteira como para cálculo de conjuntos mais complexos, como é o caso dos fractais. Pode-se definir N como o número mínimo de hiper-cubos (caixas) de lados ϵ que são necessário para cobrir todo o conjunto de pontos A . Esses hiper-cubos podem ser utilizados para cobrir um segmento de reta ou um plano. Se o tamanho da caixa for igual a $\epsilon = 1$, o número de caixas que serão necessárias para cobrir o segmento será $N(\epsilon) = 1$; se $\epsilon = \frac{1}{2}$, $N(\epsilon) = 2$; e assim por diante. A figura 2.8 mostra o processo de contagem de caixas.

Este método para cálculo também pode ser empregado em superfícies planas, mas neste caso, para obter um valor correto para D_0 , $\epsilon \rightarrow 0$. A figura 2.9 a seguir exemplifica esse caso.

Os termos dimensão fractal, dimensão de Hausdorff e capacidade equivalem à mesma idéia sobre os fractais. Os cálculos de dimensão fractal são feitos, em geral, por algoritmos

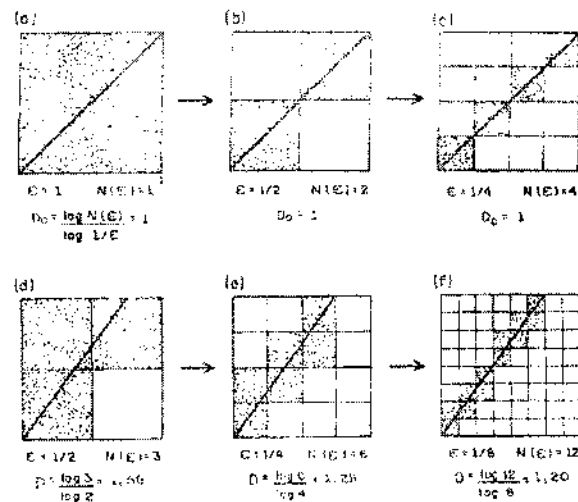


Figura 2.8: Contagem de caixas aplicada a um segmento de reta.

FONTE: Ferrara e Prado (1995)

(instruções para execução de uma tarefa) e fazem o uso direto da definição de contagem de caixas. Os microcomputadores pessoais, atualmente poderosos e rápidos, viabilizam as tarefas de cálculos. Para que os cálculos realizados com algoritmos obtenham sucesso, é necessário que os algoritmos empregados sejam de plena eficácia. Mas mesmo com os melhores algoritmos existentes, o cálculo de dimensão fractal não pode ser efetuado em dimensões maiores que dois, utilizando o método de contagem de caixas, devido a diversos fatores, não discutidos aqui (Ferrara e Prado, 1995). Neste caso outros métodos são empregados, como o Método dos Vizinhos Próximos, em que nos algoritmos de contagem de caixas o volume é mantido fixo (tamanho da caixa) e então se analisa como a densidade (número de pontos) em cada caixa varia ao longo do atrator (região ao redor do limite do fractal onde há presença de pixel). Em seguida, o atrator também é coberto por caixas que são definidas para conter o mesmo número de pontos. Então a dimensão fractal é obtida pelo estudo da variação do raio dos aglomerados ao longo do atrator (Ferrara e Prado, 1995).

Pode-se identificar também outro tipo de fractal, os denominados Fractais Gordos, que constituem uma outra classe de fractais cujo estudo é difícil se forem utilizados apenas as definições de dimensão fractal. Esses fractais possuem medida positiva e dimensão fractal

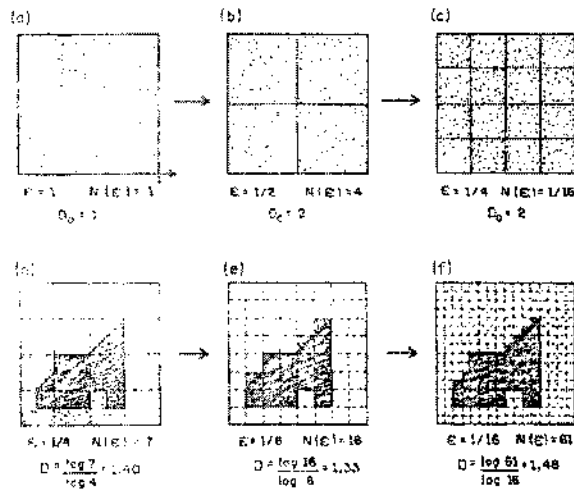


Figura 2.9: Contagem de caixas aplicada a uma superfície plana.

FONTE: (Ferrara e Prado, 1995)

inteira. A consequência é que o conceito de dimensão fractal mais utilizado não os distingue dos não fractais. Um exemplo de Fractal Gordo pode ser obtido através de uma versão modificada do Conjunto de Cantor (Ferrara e Prado, 1995). Tal conjunto tem dimensão de Hausdorff igual a 1, mas é diferente de um segmento de reta. Como equivale a um conjunto de Cantor usual, é considerado um fractal.

Dentre essas dimensões pode-se citar as dimensões generalizadas, em que a escala do fractal varia com a medida irregular, possuindo assim regiões mais densas. No caso destes fractais, o conceito de Dimensão de Hausdorff não é empregado, pois não consegue ser suficiente para analisar esta estrutura que é mais complexa (Ferrara e Prado, 1995). Ainda dentro do conceito de dimensão fractal, pode-se citar as descobertas de Spadotto et al. (1997), para determinar a dimensão fractal e também a dimensão inteira, facilitando a didática de cálculo da dimensão. Nesse caso, admite-se a existência de grandezas dimensionais denominadas de aparentes, para diferenciar das já estabelecidas pela física tradicional. Assim, uma aplicação de uma nova terminologia levaria a conceituar uma massa aparente sobre um volume aparente originando uma densidade aparente. Spadotto et al. (1997) contribuíram também com a divulgação de aplicações de fractais, quando definiram unidade fractal (UF) e matriz fractal (MF) e uma fórmula genérica para determinar a dimensão fractal.

No trabalho realizado por Spadotto e Seraphin (1997) enfatizou-se que a dimensão fractal pode ser determinada pela fórmula genérica $D = \frac{TODO}{PARTE}$ ou $D = \frac{MF}{UF}$, ou seja, uma relação do todo com uma parte de um sistema fractal. A partir da fórmula genérica, desenvolveu-se a expressão a seguir :

$$D = \frac{\log V_2}{\log \sqrt[b]{M}} \quad (2.12)$$

ou

$$D = \frac{\log V_2}{\log \sqrt[d_2]{xV_2}} \quad (2.13)$$

em que:

- D = dimensão fractal sem unidade de medida.
- V_2 = quantidade qualquer no fractal formado
- M = quantidade qualquer no gerador do fractal
- $b = 1$, quando se determina a partir de uma reta; 2, quando a dimensão é determinada a partir de um plano; 3, quando é determinada a partir de um volume.
- d_2 = densidade aparente

Segundo Spadotto e Seraphin (1997), pode-se determinar a dimensão fractal, sem que os modelos utilizados tenham que ser transformados em euclidianos ou inteiros. Essa fórmula pode ser empregada em cálculo de modelos de fractais clássicos, sendo necessário apenas alguns ajustes, que já foram desenvolvidos por pesquisadores, mostrando que os resultados obtidos estão de acordo com a literatura especializada.

Dimensão pelo Método de Divisão Escalar

O método de cálculo de dimensão pelo divisor escalar (Stoyan e Stoyan, 1994) é considerado preciso para a determinação da dimensão fractal de curvas e planos. Essas curvas são orientadas e delimitadas (por exemplo o limite de uma partícula ou de uma linha da costa). Sua descrição prossegue do seguinte modo: primeiramente um ponto inicial denominado S é marcado na curva a ser analisada; em seguida um ponto final ou um ponto arbitrário são selecionados em uma curva B. Os divisores são ajustados a uma largura de raio igual a r_1 , e

então um ponto de intersecção com B e do círculo centrado em S de raio r_1 é determinado. O processo pode ser repetido várias vezes se necessário. Nos cálculos, admite-se que $N(r_1)$ seja igual a largura do divisor que é colocado em B . Esse mesmo procedimento é repetido para os raios $r_1, r_2, r_3 \dots r_n$ com $r_1 > r_2 > r_3 > \dots r_n$. Se B for um fractal, sua aproximação pode ser dada por

$$L(r) = cr^{1-D} \quad (2.14)$$

ou

$$\log L(r) = \log C + (1 - D) \log r, \quad (2.15)$$

em que D é a dimensão do fractal calculado. Por meio do entendimento dimensional da equação acima, pode-se reescrever:

$$lr = l_0 \left(\frac{r}{r_0}\right)^{1-D}, \quad (2.16)$$

em que r_0 é uma constante arbitrária que dimensiona o comprimento e l_0 é uma constante adicional do comprimento.

Uma estimativa da dimensão D pode ser obtida traçando os pontos $(r_1, l(r_1))$ em um gráfico bi-logarítmico, obtendo assim uma reta por regressão linear. A dimensão D é obtida diretamente da inclinação angular da reta ajustada à distribuição dos pares ordenados.

Dimensão Calculada pelo Método da "Salsicha"

O método da "salsicha", ou da dilatação do contorno, é considerado ainda mais adequado para a análise de imagens do que o método das caixas. A estrutura a ser analisada constitui-se de padrões pixels. A estrutura é ampliada pela dilatação de discos, cujos raios aumentam em cada estágio, isto é, cada ponto do padrão de pixels é tornado o centro do disco e a área de pixels é dada pela união de todos os discos.

Em cada etapa o número de pixels, n_r , do presente método é anotado e os pontos (r, n_r) são traçados no papel bi-logarítmico. Tem-se que b é a inclinação da reta obtida pela regressão

linear resultante, do conjunto de pontos (r, n_r) , assim, a dimensão pode ser dada por: $\hat{D} = 2 - b$ (não demonstrado aqui).

Pelo fato que os discos demarcados digitalmente não podem ser apresentados exatamente, torna-se necessário mencionar a aproximação do disco que torna razoável utilizar os discos aproximados obtidos pelos analisadores de imagem.

$$r = \left(\frac{A}{\pi}\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}, \tag{2.17}$$

em que A é a área da figura correspondente em número de pixels. Para a figuras 2.10, os raios $\left(\frac{1}{\pi}\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}$, $\left(\frac{4}{\pi}\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}$, $\left(\frac{9}{\pi}\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}$, e $\left(\frac{12}{\pi}\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}$ são expressos como múltiplos da distância do pixel. Para sistemas de curvas, pode ser considerad um sistema de correção de curvas, em que, para cada extremidade da curva, o valor $\alpha_r \left(\frac{1}{4\pi}\right)^{(1-\alpha)}$ da área da estrutura tem que ser subtraído quando o raio r é dilatado. Aqui, α é uma estimativa apriori da dimensão fractal desconhecida. Se o conjunto investigado consiste em contornos de partículas, então as 8 fronteiras internas devem ser construídas e analisadas. Tem-se que testes dos fractais matemáticos, obtidos pelo procedimento de varredura de quadriculados mostram que os resultados aceitáveis podem ser obtidos se 5 a 10 tamanhos de discos forem utilizados. As dimensões teóricas maiores que 1.5 são em geral subestimadas. Para melhores resultados um aprimoramento deve ser executado (não apresentado aqui).

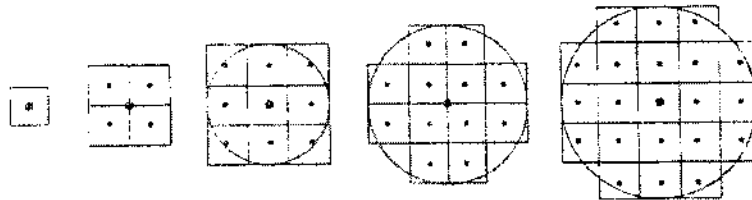


Figura 2.10: Divisão pelo método da salsicha.

FONTE: Stoyan e Stoyan (1994)

Capítulo 3

Dados e recursos de análise

A análise da morfologia das descargas elétricas atmosféricas requer a coleta de dados e o seu processamento por ferramentas de análise específicas. Neste capítulo, os dados brutos são as imagens de relâmpagos. Assim, capítulo definem-se neste capítulo, os dados e os recursos de análise selecionados.

3.1 Dados

A caracterização dos dados é uma fase muito importante neste trabalho, pois é com base na qualidade e classificação prévia das imagens que as análises serão feitas. Portanto, há uma sequência de procedimentos a ser seguida de forma a otimizar as análises e minimizar os possíveis erros que possam ocorrer.

As imagens feitas com uma câmera de vídeo normal (30 quadros por segundo) e uma de aquisição rápida (500 quadros por segundo). Inicialmente, faz-se a gravação das imagens dos relâmpagos selecionados em padrão VHS. A seguir, são utilizados recursos computacionais para captura, digitalização, e tratamento destas imagens visando um uso científico. Os equipamentos utilizados são um microcomputador de alta performance, um vídeo casete semi-profissional e uma televisão. Os arquivos são capturados em padrão AVI e, em seguida, trabalhados e separados em quadros, gerados em padrão TIFF (próprio para análise ou impressão).

Os quadros são detidos compostos de dois campos, de linhas pares e ímpares respectivamente. No tratamento faz-se a separação dos campos, interpolando as linhas, o que recupera a melhor resolução da imagem, que é de 17.6 milissegundos. Se necessário para garantir a melhor qualidade da informação, a imagem pode ser tratada com uma série de recursos específicos. A figura 3.1 exemplifica uma imagem após ter recebido tratamento. Na figura (a), observa-se a descarga com precisão de 30 milissegundos, com os campos ímpares e pares compondo a imagem. Nas figuras (b) e (c), os campos foram separados em ímpares e pares respectivamente, com uma precisão de 17.6 milissegundos, observa-se na figura 3.1 (b) a ocorrência da descarga e na figura 3.1 (c) a inexistência da descarga.

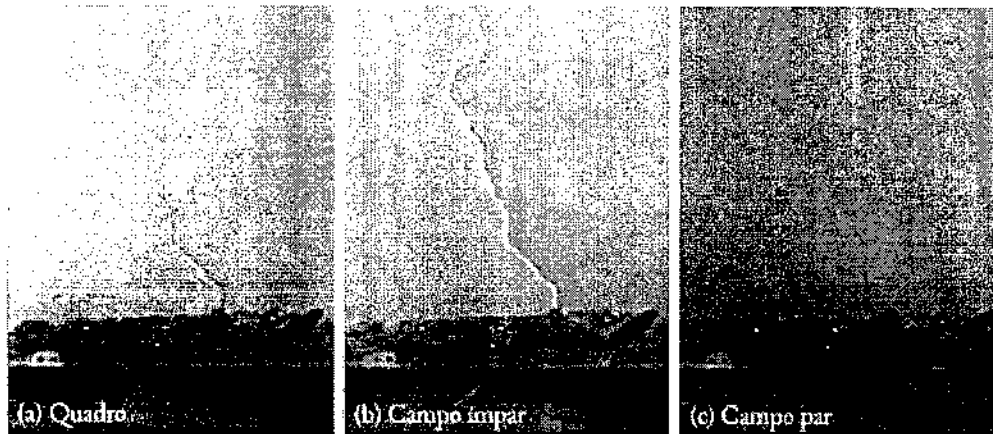


Figura 3.1: Exemplo de uma imagem tratada: (a) mostra-se a descarga em uma precisão de 30 milissegundos; (b) e (c) mostram os campos separados, ímpar (em que ocorre a descarga) e par (em que inexistente uma descarga) respectivamente, melhorando a precisão para 17.6 milissegundos.

3.2 Programa de análise fractal

Selecionado entre outros softwares por ser mais adequado, o Harfa (Harmonic and Fractal Analysis) é um programa que pode ser utilizado para fazer análise fractal e análise harmônica de imagens digitalizadas (maiores detalhes encontram-se no Apêndice A), aplicado quanto à característica de ramificação. A análise realizada determina a dimensão fractal da imagem por meio da técnica de contagem de caixas (descrito no capítulo 2). A análise dinâmica consiste

em variar o mascaramento dos pixels e calcular a dimensão para cada etapa (nível de pixel). O Harfa foi escolhido por ser de fácil uso, permitir controles de parâmetros e possibilitar a criação de uma metodologia própria para a análise de relâmpago. Os passos para a obtenção da dimensão fractal no Harfa são:

- abertura da figura a ser analisada, que deve estar disponível em padrão TIFF ou BMP;
- transformação da imagem para tons de cinza;
- utilização da Análise Dinâmica para estabelecer um patamar, em que se observa um intervalo constante ou aproximadamente constante de dimensão fractal;
- obtenção preliminar da dimensão fractal, pois a informação dada pelo patamar serve de parâmetro para estabelecer a provável dimensão fractal;
- execução da Análise por Contagem de Caixas, utilizando os valores do intervalo do patamar para escolha da intensidade do tom de cinza;
- obtenção do resultado gráfico da dimensão fractal por análise de contagem de caixas determinando a dimensão fractal da descarga e o erro envolvido.

Ressalta-se que cada evento deve ser analisado de forma específica, com a intervenção do observador, pelas suas características físicas e por seus padrões numéricos.

3.3 Digitalização e análise numérica

A análise da tortuosidade do relâmpago será feita considerando a mudança de direção e comprimento de cada passo do canal principal. Para análise da mudança de direção, inicialmente, serão obtidos pares ordenados (coordenadas x,y) na imagem do relâmpago por meio de digitalização da imagem, utilizando o programa computacional Image-Pró Plus (da Media Cybernetics). Com base nesses dados, um cálculo utilizando o programa denominado PLUX, desenvolvido pelo pesquisador, é realizado em que parâmetros estatísticos importantes (por exemplo, índice de rugosidade) podem ser obtidos, para melhor caracterização da descarga elétrica em análise. Determina-se ainda, utilizando uma régua e uma imagem ampliada do

relâmpago, pelo método da divisão escalar (descrito no capítulo 2) a dimensão fractal associada à tortuosidade do canal.

Capítulo 4

Metodologia implementada

Neste capítulo, apresentam-se os procedimentos de análise que caracterizam a metodologia implementada e faz-se o tratamento de um evento de relâmpago para exemplificação. Os resultados do processamento referem-se à análise do canal do relâmpago com respeito à ramificação, luminosidade e tortuosidade.

4.1 Seleção de evento

As imagens de relâmpagos são um instrumento importante para o entendimento da física das descargas elétricas atmosférica. As imagens são obtidas dentro de um amplo banco de registros próprios ou outros registros de interesse. Com o exame visual desses registros, seleciona-se o evento para estudo, descrevendo informações básicas (tabela 4.1). Faz-se a captura digital da imagem (seção 3.1). A figura 4.1 apresenta a primeira descarga de retorno de um relâmpago ocorrido em São José dos Campos, em 28 de janeiro de 2001, às 21:10:00h - UTC (subtrair 3h para obter o horário local).

4.2 Análise do relâmpago

A análise do relâmpago neste trabalho divide-se em três partes: quanto a ramificação, quanto a luminosidade e quanto a tortuosidade presentes nas descargas elétricas. Nesta seção

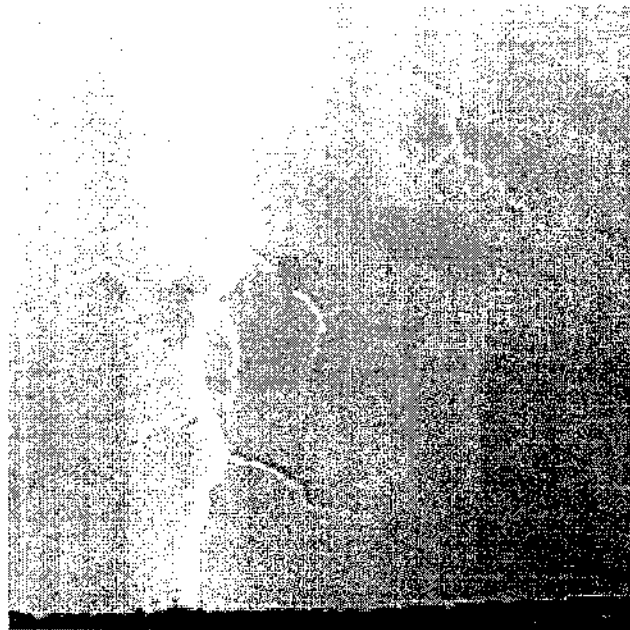


Figura 4.1: Primeira descarga de retorno utilizada em análises.

serão apresentadas algumas características presentes nas imagens de relâmpagos.

4.3 Obtenção da Dimensão Fractal

Em uma primeira análise como um teste padrão, utilizando o Harfa como ferramenta de estudo, pôde-se obter um resultado satisfatório para a dimensão fractal do triângulo de Sierpinski (uma figura padrão com comportamento fractal), em que se encontra o valor de 1.58 ± 0.01 na dimensão (maiores detalhes no Apêndice A). As figuras A.1 a A.7, no apêndice mostram os procedimentos executados e o resultado obtido na análise do triângulo de Sierpinski. Pelo método teórico, resolvendo conforme os conceitos matemáticos, encontra-se o resultado de 1.58 na dimensão. Em uma segunda etapa de análise preliminar, foram escolhidas duas imagens diferentes para análise. Uma imagem consiste na galharia de um arbusto (figura 4.2) e a outra imagem é de um relâmpago ramificado (figura 4.5). Na figura da galharia do arbusto, utilizando o método de contagem de caixas, pode-se caracterizar um resultado satisfatório quando a intensidade de pixels escolhida, em tons de cinza (0 a 255), foi ≤ 112 .

Tabela 4.1: Características gerais da descarga analisada.

Tipo de descarga:	nuvem-solo
Local de início:	topo da imagem
Ramificação:	sim
Tortuosidade:	muito
Extensão:	vertical
Contato com solo:	vertical ao solo
Luminosidade:	homogêneo
Multiplicidade:	não disponível
Intervalo inter-stroke:	não disponível

Analisando pelo *Fractal Analises-Range*, denominado aqui como "Análise Dinâmica Fractal", pode-se observar a formação de um patamar, onde a formação da galharia (nitidez) estaciona aproximadamente para valores de intensidade entre 102 a 114, onde a imagem está bem definida. Nesse intervalo, a dimensão fractal caracteriza-se em 1,6, como um valor médio. O gráfico capaz de oferecer estas informações é denominado de "Espectro Fractal"(figura 4.4), em que a dimensão fractal corresponde a uma figura em que houve mascaramento de pixels (pixels abaixo do valor arbitrado tornam-se preto intenso (255) e acima branco (0) intenso, ou vice-versa). Após o valor de intensidade de 114, manchas e pontos começam a descaracterizar o objeto de estudo, o que produz distorção nos resultados. O valor verificado nas caixas que contêm os pixels Pretos e pixels Pretos e Brancos, que definem a ramagem e a sua fronteira, é igual a 1,6084, com uma incerteza de ± 0.0066 . Quanto às caixas somente com pixels Preto e Branco, que definem a fronteira da ramagem, o resultado da dimensão foi de 1,4450, com uma incerteza de $\pm 0,0324$ (figura 4.3), as dimensões não tem que ser idênticas, mas consistentes. De mesmo modo, a imagem do relâmpago também apresentou uma dimensão considerada satisfatória para uma intensidade ≤ 180 , pela nitidez com que o canal se apresenta. Na análise dinâmica, o patamar estabeleceu-se nos valores de intensidade entre 175 e 190 (figura 4.7). Após o valor de intensidade de 190, há uma diminuição progressiva da qualidade da imagem em relação a ramificação, descaracterizando a ramificação do relâmpago. O resultado obtido na Análise Fractal por contagem de caixas para Branco + Preto e Branco (canal e fronteira)

foi de 1,6465, com uma incerteza de ± 0.0134 e para Preto e Branco, que é a fronteira do canal 1,3222, com incerteza de ± 0.0183 (figura 4.6).

As descargas também foram analisadas quanto à ramificação, podendo essas serem muito, médio ou pouco ramificadas, e o local da ramificação na descarga elétrica (topo, meio, base do canal ou de forma homogênea). O cálculo da dimensão fractal é apresentado, utilizando os filtros para realce de imagem (tabela 4.2). As abreviações G. F. E., L. F. E. e S. F. E. são referentes aos filtros utilizados Gradient Find Edges, Laplace Find Edges e Sobel Find Edges. A utilidade de cada filtro está descrita no Apêndice A.

A ferramenta mostra-se eficaz, capaz de estabelecer um valor médio e o erro, estabelecendo uma forma objetiva de analisar as ramificações. Com isso, como resultado, conseguiu-se uma ferramenta capaz de classificar objetivamente os relâmpagos quanto às ramificações. Ressalta-se, assim, que toda uma metodologia envolvendo filmagem, aquisição de imagem, processamento de características de objetos de estudo documentados visualmente e procedimento da obtenção da dimensão fractal foi implementada neste trabalho. Isto provê novos recursos de classificação dos relâmpagos (isto é, caracteriza uma nova ferramenta de investigação), permitindo estudar futuramente a relação da morfologia da descarga atmosférica com o estado da atmosférica.

Tabela 4.2: Intensidade, local de ramificação e dimensão fractal da descarga analisada.

Imagem	Ramificado	Onde ocorre	G.F.E.	L.F.E.	S.F.E.
Relâmpago analisado	médio	meio descarga	Patamar: 217 (1,3453)(±0,0063) (B + BW) (1,3157)(±0,0129) (BW)	Patamar: 114 (1,1473)(±0,0383) (W + BW) (1,1922)(±0,0382) (BW)	Patamar: 163 (1,3240)(±0,0068) (B + BW) (1,3035)(±0,0108) (BW)

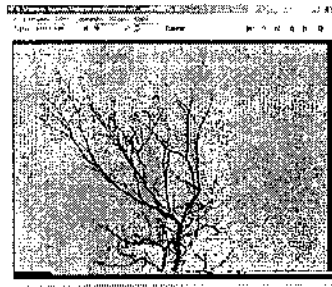


Figura 4.2: Galharia de arbusto utilizada para análise de dimensão fractal no Harfa.

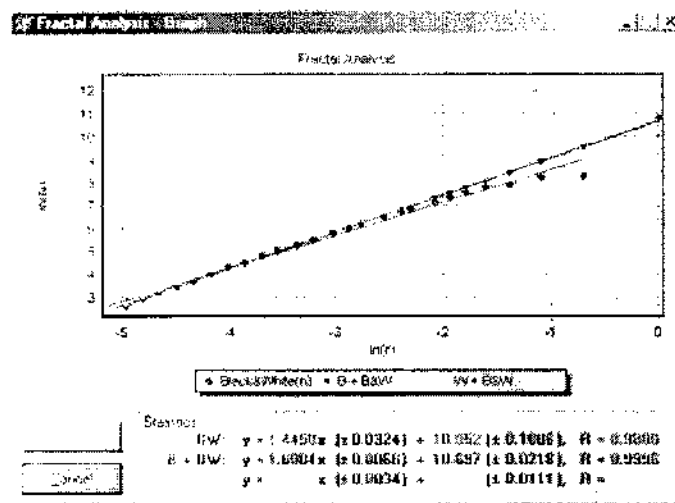


Figura 4.3: Resultado da análise da galharia de um arbusto, em que a inclinação da reta ajustada dá a dimensão fractal.

4.4 Análise da luminosidade

A análise da classificação por intensidade de brilho na imagem é feita utilizando a Análise Dinâmica, recurso presente no software Harfa. Nesta análise foram escolhidos valores de intensidade de mascaramento arbitrariamente, variando de 32 em 32 até 256. o valor do número de pixels, obtendo 8 intervalos de mascaramento, podendo assim, verificar as partes da imagem que possuem maior brilho. Os dados estão apresentados na tabela 4.3.

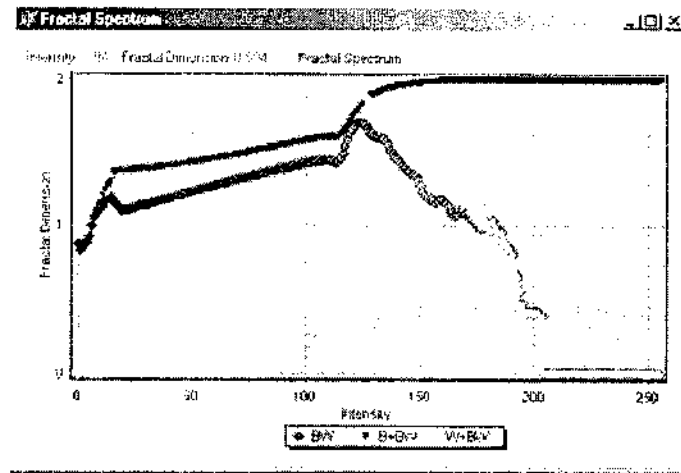


Figura 4.4: Resultado de análise da galharia, por meio Análise Dinâmica Fractal, para estimar o erro envolvido na cálculo da dimensão fractal.

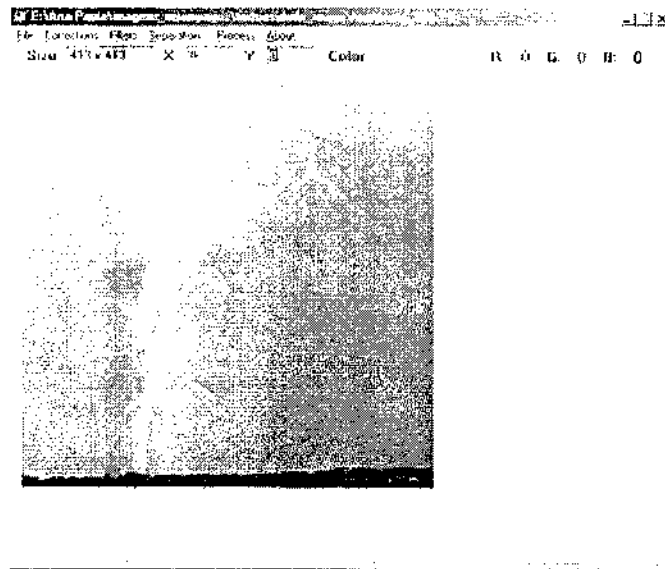


Figura 4.5: Relâmpago ramificado utilizado na análise de dimensão fractal no Harfa.

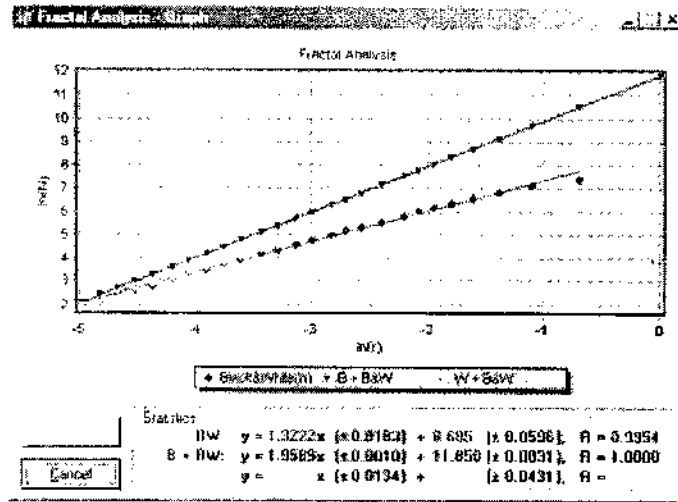


Figura 4.6: Resultado da análise do relâmpago ramificado, em que a inclinação da reta ajustada dá a dimensão fractal.

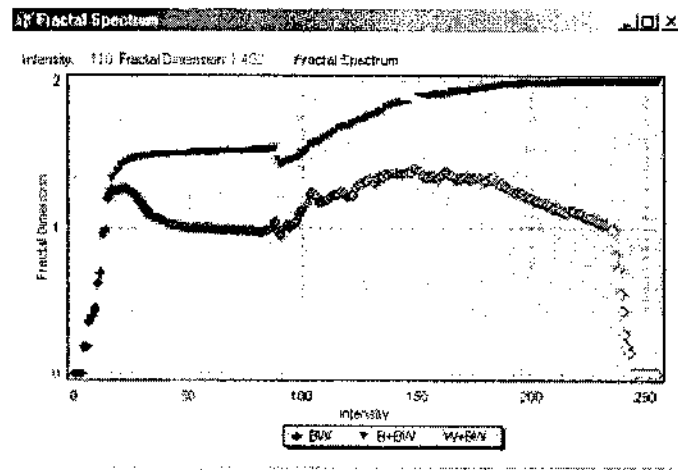


Figura 4.7: Resultado da análise do relâmpago ramificado, por meio da Análise Dinâmica Fractal.

4.5 Obtenção do caminho digitalizado

Com a digitalização do canal (figura 4.8), pode-se obter com o programa Flux os valores (figura 4.9) demarcando em pares ordenados o canal do relâmpago, tomando como base, os eixos de referências x, y arbitrados convenientemente. Desta forma é possível estabelecer a mudança de direção do canal, bem como o comprimento de passo do canal e índices associados, como, por exemplo, índice de rugosidade, definido como a razão entre o comprimento do caminho e a distância entre os extremos da descarga. Essas informações permitirão discutir aspectos da eletrodinâmica da descarga atmosférica. Outra técnica fractal a ser utilizada em breve com essa informação é a técnica da divisão escalar do canal principal.

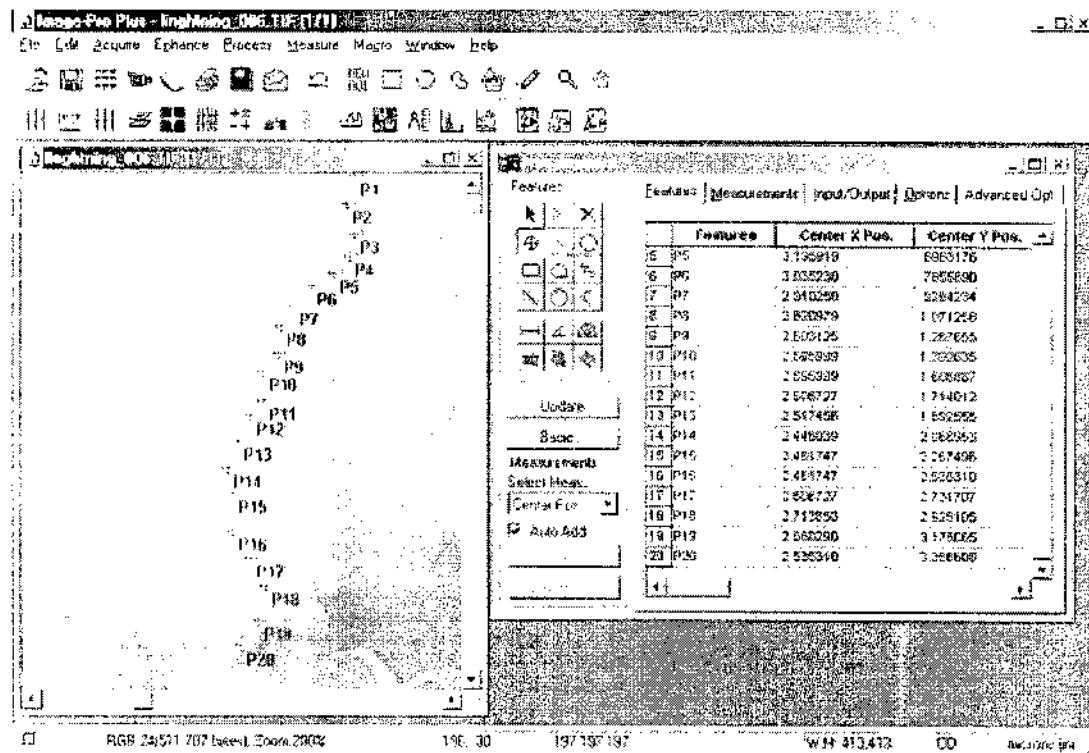


Figura 4.8: Digitalização do canal do relâmpago.

The screenshot shows a text-based interface with a menu bar (Arquivo, Editar, Executar, Ajuda) and a main display area. The display area contains several lines of text representing calculated values and a table of data points.

```

# x[0], y[0]
3.339 0.000
# x[47], y[47]
2.178 7.035
# x_min, y_min
2.125 0.000
# x_max, y_max
3.339 7.035
# hipotenusa
7.110
# Comprimento inclinado
7.110
# Comprimento linear
7.095
# Índice inclinação
9.792
# Índice rugosidade
1.107

# ordem, x, y, del_I, alfa_vert, beta_canal
0 3.339 -0.000 999.900 999.900 999.900
1 3.267 -0.179 0.192 -21.801 999.900
2 3.285 -0.339 0.162 6.341 28.142
3 3.339 -0.464 0.136 23.198 16.858
4 3.196 -0.661 0.243 -36.027 -59.226
5 3.300 -0.803 0.243 -53.973 -17.945
6 2.857 -1.000 0.243 -36.027 17.945
7 2.803 -1.250 0.256 -12.095 23.933
8 2.696 -1.375 0.365 -40.651 -28.587
9 2.714 -1.571 0.197 5.194 45.796
10 2.642 -1.678 0.129 -33.696 -38.884

```

Figura 4.9: Valores obtidos na digitalização e processados no Plux.

4.6 Método da divisão escalar

O método da divisão escalar, como já foi descrito no capítulo 2 (2.3.1), pode ser utilizado para determinação da dimensão fractal em curvas. No caso, ele está sendo empregado para a obtenção da dimensão fractal do canal principal do relâmpago. Para sua ampla utilização, uma metodologia própria ainda está em fase de criação.

A análise do canal da descarga por meio deste método segue algumas etapas, que serão expostas a seguir:

- Impressão da imagem da descarga analisada em folha tamanho A4;
- Ampliação dessa imagem por meio de uma cópia, feita em máquina de copiadora, para o tamanho A3;

- Divisão do canal da descarga em pedaços que começam em milímetros e passam para centímetros, de acordo com o tamanho da descarga;
- Contagem da quantidade de pedaços obtidos para cada tamanho do pedaço;
- Confecção de planilha e em seguida de uma gráfico (r_1 (tamanho do pedaço) por $l(r_1)$) (quantidade de pedaços obtidos);
- Obtenção de uma reta por regressão linear. A dimensão D é obtida diretamente da inclinação angular da reta ajustada à distribuição dos pares ordenados.

Para a divisão da descarga utilizou-se uma régua comum, dividida em centímetros.

Capítulo 5

Conclusões

Caracterizou-se neste trabalho uma metodologia para análise fractal dos relâmpagos. A ferramenta Harfa, selecionada entre outras, mostra-se prática no manuseio, com um algoritmo computacional ágil, e com cálculos matemáticos escorregios (incluindo tanto o valor da determinação da dimensão fractal quanto o erro de medida envolvido). Portanto, a par com uma metodologia implementada de análise fractal (aquisição de imagens, tratamento e processamento), conta-se agora com um conjunto de ferramentas consistentes para um estudo objetivo dos relâmpagos quanto as propriedades de ramificação, luminosidade e tortuosidade. Essa determinação do índice fractal e caracterizações permitirão classificar os relâmpagos, em um estudo da morfologia, de forma a relacioná-los oportunamente com o estado físico da atmosfera.

Com esse trabalho de iniciação científica, introduziu-se o estudante no conhecimento criativo científico, na prática de atitude e da crítica científica e em um exercício de capacitação profissional.

Importância deste estudo:

É a primeira vez que se faz um estudo sistemático da análise de morfologia no Brasil, sendo que as características dos relâmpagos identificadas associam-se a estados da eletrodinâmica atmosférica. O resultados deste estudo auxiliam nos esforços internacionais de entendimento do fenômeno relâmpago.

Perspectivas para a continuação do trabalho:

- Aprimoramento de aspectos da metodologia de análise fractal aqui desenvolvidas;
- Análise de eventos de relâmpagos para caracterização eletrodinâmica, por meio da metodologia em desenvolvimento.

Referências Bibliográficas

- Alouso, M.; Finn, E. J. **Física: Um Curso Universitário.** São Paulo: Editora Edgar Blücher, 1972. v. 2, Cap. 14, p. 1-5.
- Baxes, G. A. **Digital image processing: principles and applications.** John Wiley and Sons, 1994. Cap. 4, p. 73-105.
- Borovsky, E. J. Lightning energetics: Estimates of energy dissipation in channels, channel-radii, and channel-heating risetimes. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D10, p. 11537-11553, 1998.
- Ferrara, N. F.; Prado, C. P. C. **Caos : Uma Introdução.** São Paulo: Edgar Blücher, 1995. Cap. 3, p. 253-280.
- Gin, R. B. B. **Estudo Coordenado de um Sistema de Tempestade sobre a América do Sul.** São José dos Campos. 141 p. INPE-5388-TDI/477. Mestrado em Ciência Espacial / Geofísica Espacial - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Abril 1992.
- Gleick, J. **Caos, a criação de uma nova ciência.** Campus, 1990.
- Goody, R. M.; Walker, J. C. G. **Atmosferas Planetárias.** São Paulo: Edgar Blücher, 1975. Cap. 3, p. 40-64.
- Hill, R. D. Analysis of irregular paths of Lightning Channel. **Journal of Geophysical Research**, , n. 73, p. 1897-1906, 1968.
- Lupò, G.; Petrarca, C.; Tucci, V.; Vitelli, M. EM Fields associated with lightning channels: on the effect of tortuosity and branching. **IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility**, v. 42, n. 4, p. 394-404, 2000.

- Lutgens, F. K.; Tarbuck, J. E. **The Atmosphere**. 2. ed. Englewood Cliffs, 1982.
- MacGorman, D. R.; Rust, W. D. **The Electrical Nature of Storms**. Oxford University, 1998.
- Marques, O. F.; Vieira, H. N. **Processamento digital de imagens**. Brasport, 1999. Cap. 4, p. 109-166.
- Mendes, O. J.; Domingues, M. O. Introdução à Eletrodinâmica Atmosférica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 01-17, março 2002.
- Richard, M.; Walker, J. C. G. **Atmosferas Planetárias**. Edgard Blücher, 1975.
- Russ, J. C. **The image processing handbook**. 3. ed. CRC Press and IEEE Press., 1998. Cap. 4,8, p. 242-255, 559-562.
- Saba, M. M. F. **Estudo de condutividade, campo elétrico e relâmpagos associados a nuvens de tempestade**. São José dos Campos. Tese - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Junho 1997.
- Serway, R. A. **Física 3 Para Cientistas E Engenheiros**. Livros Técnicos e Científicos, 1996.
- Soares, R. Dimensão Fractal. internet, Janeiro 2002. Online: <http://www.terravista.pt/-BaiaGatas/1243/home.htm>.
- Spadotto, A. J.; Guerrini, J. A.; Rezende, M. A. Desenvolvimento de um Método Didático para Determinação da Dimensão Fractal. In: Reunião Anual da S B P C. **Reunião Anual da S B P C**. Belo Horizonte: Anais Belo Horizonte, 1997. p. 19.
- Spadotto, A. J.; Seraphin, O. J. Determinação da dimensão fractal pela fórmula Spadotto e pelo método MC-D. Revista online, 1997. Online: <http://www.fca.enesp.br/posgradua/-Energia/revista/v12n4-97/spadotto.pdf>.
- Stoyan, D.; Stoyan, H. **Fractal Random Shapes And Point Fields : Methods of Geometric Statistics**. John Wiley and Sons, 1994. Cap. 3, p. 3-44.

Takagi, N.; Takeuti, T.; Nakai, T. On the occurrence of positive ground flashes. **Journal of Geophysical Research**, v. 91, p. 9905–9909, 1986.

Takayasu, H. **Fractals in the Physical Sciences**. John Wiley and Sons, 1990.

Uman, M. A. **All About Lightning**. New York, Dover, 1987. Cap. 6, p. 47–53.

Apêndice A

A ferramenta Harfa

O programa Harfa (figura A.1) faz a análise da dimensão fractal de imagens digitalizadas por meio da técnica de contagem de caixas. Os resultados podem ser obtidos após um trabalho que é feito na imagem, em que a mesma é transformada pelo processo chamado de separação em tons de cinza. Quando uma imagem é colorida, ela possui três números de pixel no padrão RGB, que devem ser isoladas e/ou convertidos. Assim ela se torna monocromática, constituindo um padrão de cinza, que vai do preto até o branco.

Após a transformação, deve-se escolher o processo (tipo de análise) que será utilizado, com base no método da contagem de caixas. Um menu de escolha de dados será aberto, que deve ser usada para medir a intensidade (quantidade de pixels) da cor que se deseja (cor que vai do branco até o preto), que é determinada por um número que vai de 0 até 255. A intensidade deve ser escolhida manualmente ou selecionada com o acionamento do mouse com o cursor sobre o desenho. Pode-se escolher também, conforme a necessidade, se a intensidade deve ser maior ou menor que aquele número, ou seja, os pixels que devem estar dentro da análise.

O botão denominado "executar mascaramento" deve ser ativado para que os pixels que estão dentro da faixa de intensidade sejam separados dos demais, de forma a ser feita a análise da dimensão fractal do objeto de interesse na imagem. Ainda é possível escolher se a análise será feita por passos discretos (quantidade de vezes que será dividida a figura em caixas) ou por logaritmos "contínuos".

Nos exemplos mostrados, utilizou-se o método discreto. Após preenchida todas as opções,

deve-se ativar o botão iniciar para que a análise seja efetuada, resultando em um gráfico.

Nesse gráfico, encontram-se valores de três dimensões diferentes: aquela da análise de caixas que contém pixels Branco e Pretos; Preto + Branco e Preto; e Branco + Preto e Branco. No caso das análises realizadas nos exemplos, foi levado em consideração o resultado dos pixels BRANCO + BRANCO E PRETO, mas isso deve ser analisado de acordo com a necessidade da análise, isto é, com a escolha do objeto fractal. Outro recurso ajuda na escolha da intensidade ideal, é a Análise Dinâmica, que calcula todas as intensidades, de 0 a 255, resultando em um gráfico, que mostra, pela nitidez do objeto na imagem, o valor mais propício para a intensidade que deverá ser utilizada para caracterizar a dimensão fractal (figura A.7). A seguir, pode-se observar com as figuras A.1, A.2, A.3, A.4, A.5 e A.6 as várias etapas com o auxílio do Harfa. A análise prévia foi feita utilizando o triângulo de Sierpinski, em que uma dimensão de aproximadamente 1,58, com uma incerteza de $\pm 0,01$, pode ser calculada.

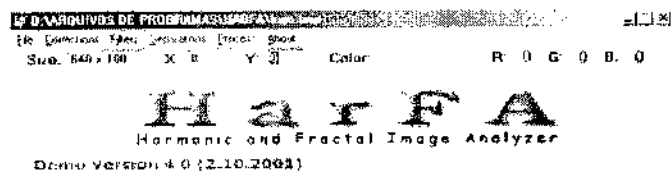


Figura A.1: Interface do Harfa

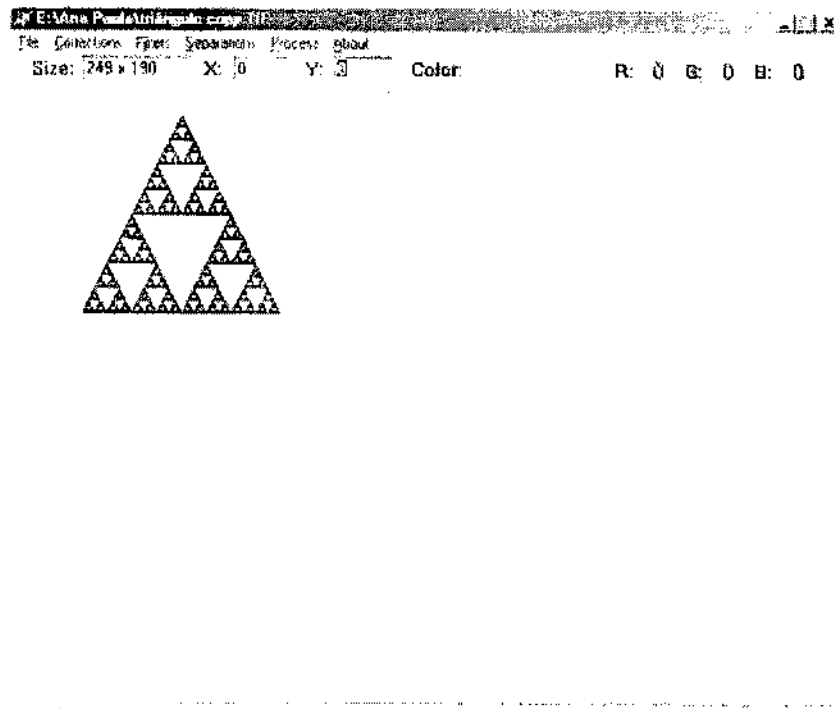


Figura A.2: Harfa com a figura a ser analisada: o triângulo de Sierpinski.

A.1 Outros recursos disponíveis

No processamento digital de imagens, trabalha-se muito com os padrões de cores da imagem (RGB, padrões de cinza de valor de 0 a 255, HSI ou HSB). O objetivo do modelo de cores é permitir a especificação de cores em um formato padronizado. Este modelo de cores consiste em uma representação em que cada cor é representada por um ponto em um sistema de coordenadas tridimensional (Marques e Vieira, 1999). O padrão RGB refere-se as cores primárias Red, Green e Blue, que são vermelho, verde e azul. Sendo mais utilizado por câmeras e monitores de vídeo; o padrão HSI possui os componentes de matiz (Hue), saturação (Saturation) e intensidade (Intensity), sendo a sua informação de imagem apresentada de forma próxima à percebida pelo olho humano; e o padrão HSB (hue, saturation, brightness) representa a noção de intensidade luminosa ou brilho (Brighthness), o matiz é uma propriedade associada ao comprimento de onda predominante da combinação das várias ondas visíveis e a saturação expressa a pureza do matiz (Marques e Vieira, 1999). Assim, nos processamentos digitais,

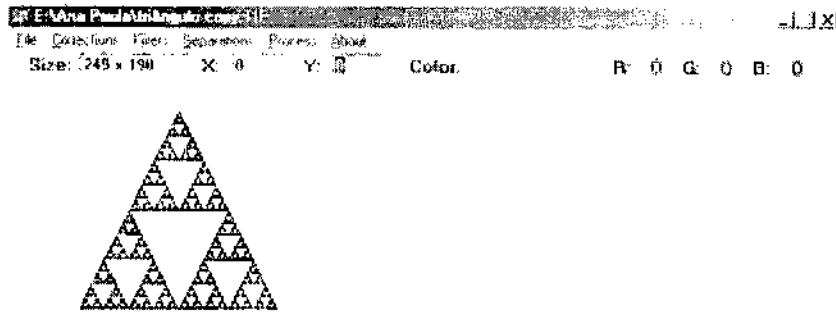


Figura A.3: Resultado da separação de cores e conversão em tons de cinza.

encontram-se filtragens, realces e suavizações de imagens, que possuem como objetivo tratar a imagem de modo que a imagem resultante seja mais adequada que a original para alguma aplicação específica (Marques e Vieira, 1999; Baxes, 1994; Russ, 1998).

O programa computacional Harfa possui esses recursos que podem auxiliar no cálculo da dimensão fractal, quando associados aos processos que realizam esses cálculos. Os Filtros de Suavização de Imagens trabalham com os pixels das imagens. Existem basicamente três blocos de filtros dentro do programa Harfa: (a) um bloco faz a suavização de imagens utilizando os filtros da média e mediana; (b) outro bloco faz a caracterização das formas ressaltando as bordas e fronteiras; (c) e o terceiro bloco utiliza o cálculo de derivadas para ressaltar diferenças. Filtro SmoothBox e Filtro SmoothBinomial são filtros do bloco da média. A aplicação do filtro resulta em uma imagem com cores em padrão de cinza. O primeiro desses dois filtros permite a escolha de um valor para o raio ao redor do pixel central. O intervalo para este valor vai de 0 a 15 e o valor escolhido determina a quantidade de pixels que irão entrar no cálculo feito por uma matriz, e também este valor é que determinará a qualidade da

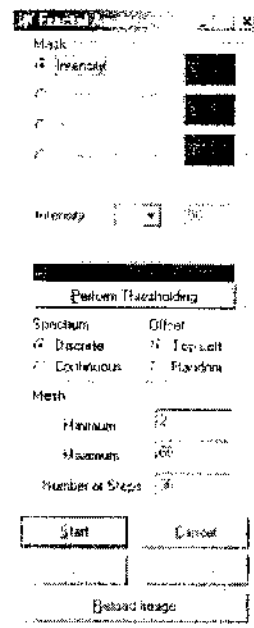


Figura A.4: Janela de opções para análise fractal por técnica de contagem de caixas do Harfa.

imagem suavizada. O segundo filtro faz o cálculo diretamente, sem a escolha de valores para realização dos cálculos. Além destes dois filtros, existem ainda o Filtro da Média e o Filtro de Kuwahara também pertencentes ao bloco da média e mediana. Todos os filtros de suavização apresentados fazem uma espécie de "interpolação" entre os pixels, deixando a imagem um tanto "embaçada" e com isso, as bordas do objeto a ser analisado não ficam evidentes. Por este motivo estes filtros não serão utilizados neste trabalho.

No presente trabalho, os filtros que serão mais enfocados, e possivelmente mais utilizados, são os filtros que lidam com bordas e fronteiras e os filtros de derivadas. No filtro de bordas e fronteiras, valores de raios dos filtros são estabelecidos e dentro dos limites de pixels estabelecido os cálculos são realizados por meio de algoritmos específicos.

Esses filtros existentes no programa foram estudados e testados separadamente para verificar a adequação no tratamento e a utilidade de cada um. Estabeleceu-se comparações dos resultados com e sem as suas utilizações, para validação de seu uso. Para estabelecer esta comparação, foi realizada análise fractal em uma imagem de relâmpago (figura A.8) sem a utilização prévia de nenhum tipo de filtro. Nessa análise, o patamar da intensidade de análise

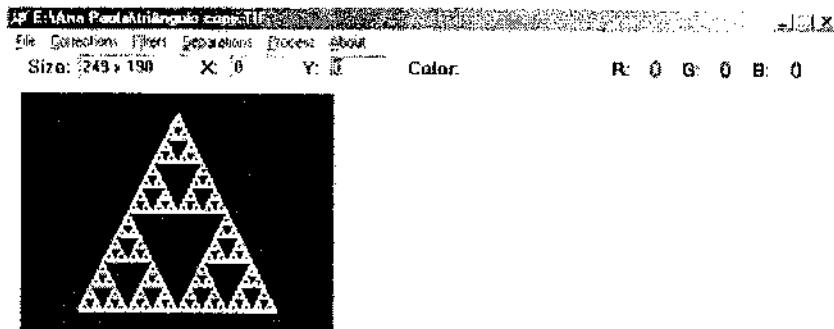


Figura A.5: Mascaramento de pixels e execução do algoritmo de contagem de caixas.

dinâmica ficou entre 50 e 60 e o cálculo de dimensão fractal para intensidade de mascaramento ≤ 60 foi de 1,4770, com um erro aproximado de $\pm 0,0079$, para Branco mais Preto e Branco (apropriado para evidenciar o canal da descarga); e 1,3859 com um erro aproximado de $\pm 0,0210$ para Preto e Branco (apropriado para evidenciar a fronteira da descarga). Os filtros analisados e suas propriedades são descritos a seguir.

No bloco dos filtros que ressaltam as bordas e as fronteiras, temos o filtro de GradientFindEdges, o Filtro de LaplaceFindEdges e o Filtro de SobelFindEdges. O primeiro filtro possui a capacidade de definir de modo bem nítido os contornos da imagem. No cálculo deste filtro, é possível escolher o valor para o raio que melhor atenderá as necessidades do trabalho. Este valor vai de 0% até 99% e dependendo da escolha, a imagem fica em tons de cinza mais claros ou tons de cinza mais escuros. Para efeito de teste, um valor de raio 2 foi utilizado e os procedimentos de análise fractal foram realizados após o cálculo feito pelo filtro. Com a análise dinâmica, o valor de intervalo de patamar ficou entre os valores de intensidade 198 e 202. Para cálculo de análise fractal por contagem de caixas foi escolhido o valor de intensidade

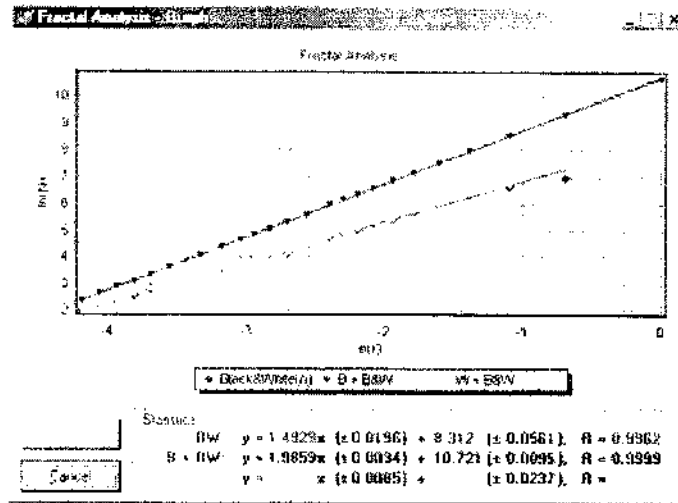


Figura A.6: Resultado gráfico da análise fractal, com a dimensão indicada pela inclinação da reta ajustada.

de mascaramento ≤ 200 . Com este valor, obteve-se dimensão fractal de 1,4348 com um erro aproximado de $\pm 0,0088$ para Preto mais Branco e Preto, e um valor de dimensão fractal de 1,4325 com um erro aproximado de $\pm 0,0116$ para Preto e Branco. O filtro de SobelFindEdges também define as bordas da imagem, sendo que o filtro de Sobel mostra a imagem em tons de cinza mais fortes que o primeiro filtro, escurecendo não só as bordas como também todo o interior da imagem. Os cálculos são feitos diretamente assim que o filtro é acionado, não sendo possível a escolha de valores a fim de estabelecer padrões. Neste filtro também foi realizado teste para verificar o funcionamento do filtro. Após o processamento da imagem pelo filtro, aplicou-se a análise dinâmica e o valor de patamar ficou entre 120 e 150. Para o cálculo de análise fractal por contagem de caixas, foi escolhido valor de intensidade de mascaramento ≤ 140 . Com este valor, obteve-se dimensão fractal de 1,5027 com um erro aproximado de $\pm 0,0100$ para Preto mais Preto e Branco e valor de dimensão fractal de 1,5167 com erro aproximado de $\pm 0,0071$ para Preto e Branco.

Existem também os cálculos por derivadas que estão no terceiro bloco de tipos de filtros. As derivadas podem ser em x , y e xy e também em Sobelx e Sobely. O cálculo de filtro é direto para qualquer um dos tipos, não havendo a escolha de valores. A derivada faz o cálculo diminuindo o valor resultante, tendendo a valores pequenos, próximos de zero. Na aplicação

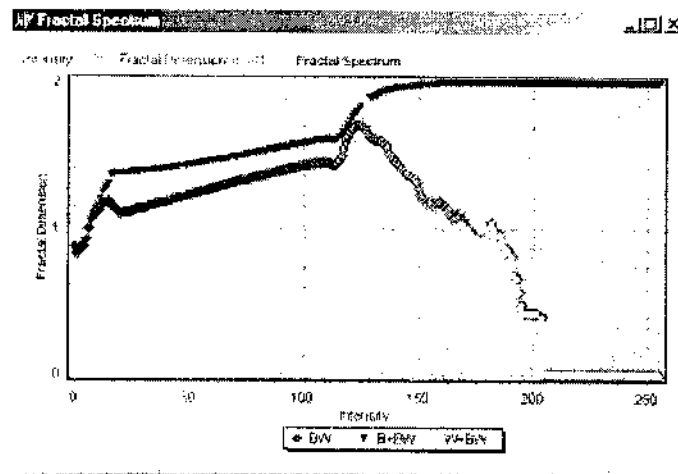


Figura A.7: A Análise Dinâmica Fractal para estimar o erro no cálculo da dimensão fractal. Essa figura refere-se a um relâmpago analisado.

do filtro da derivada, a imagem fica em tons de cinza que vão de 0 a 255 e a imagem resultante parece estar em relevo, sendo que o interior da imagem aparece em tons mais claros (valores mais altos) e as bordas mais escuras (valores mais baixos). Os espaços vazios ao redor da imagem ficam em tons de cinza escuros (valores baixos). Quando aplica-se a análise dinâmica na imagem processada pelo filtro, com valores de intensidade de 0 a 255, em condições \leq (quanto a intensidade e mascaramento), primeiramente os pixels de valores mais baixos é que são mascarados primeiro, por este motivo o objeto fica escuro em um primeiro momento (as bordas e o fundo da imagem são os primeiros a ficarem mascarados). Quando acabam os pixels de baixo valor, está na hora de mascarar os pixels de valor mais alto, e neste momento todo o objeto torna-se branco. O gráfico resultante da análise dinâmica mostra esta variação na coloração e nos valores, sendo que este gráfico não é simétrico porque existem mais pixels de valor baixo (preto) do que pixels de valor alto (branco). A tabela abaixo mostra em forma sintetizada os filtros, seus valores e suas utilidades.

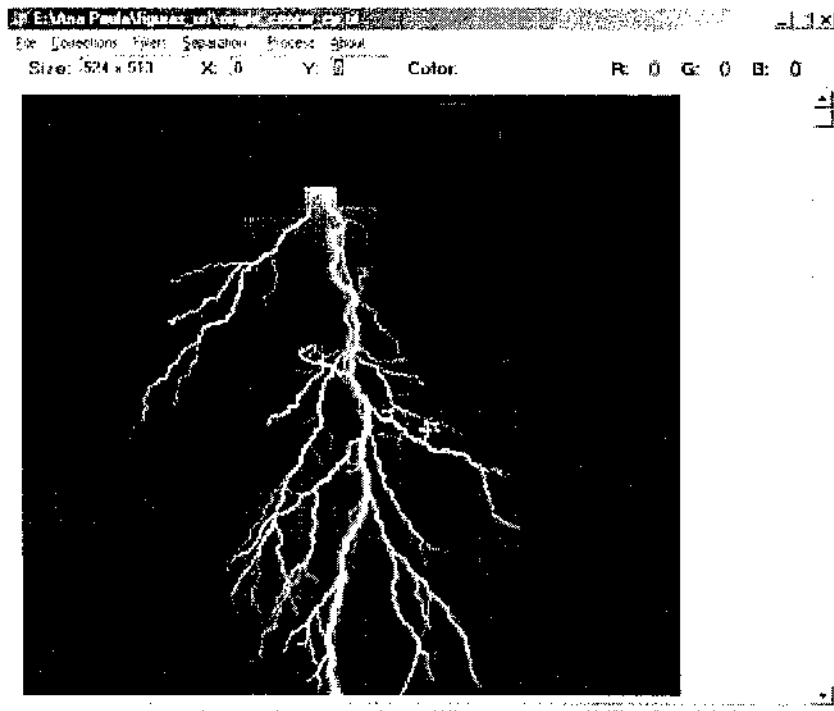


Figura A.8: Relâmpago utilizado na análise de dimensão fractal no Harfa.

Tabela A.1: Relação dos filtros com os valores obtidos e utilidade de cada um.

Filtro	Parâmetro	Dimensão fractal e Erro	Utilidade
Gradient Find Edges	198 - 202	(1,4348)($\pm 0,0088$) (B \div BW) (1,4325)($\pm 0,0116$) (BW)	Ressalta as fronteiras da imagem.
Laplace Find Edges	115 - 123	(1,4132)($\pm 0,0154$) (BW) (1,4132)($\pm 0,0227$) (B + BW)	Mais indicado para análise do canal, estando os resultados ainda em estudo.
Sobel Find Edges	130 - 140	(1,5022)($\pm 0,0100$) (B + BW) (1,5167)($\pm 0,071$) (BW)	Ressalta mais o canal da imagem de um relâmpago.

Como conclusão, tem-se que uma imagem, por necessidades específicas, pode ser tratada com filtros de forma a evidenciar o canal de uma imagem de relâmpago (Filtro SobelFindEdges) ou as fronteiras da imagem do relâmpago (Filtro GradientFindEdges). O filtro de derivadas ressalta de horizontalidade ou verticalidade do canal, podendo servir como índice para essa característica da descarga. Os valores da dimensão fractal não são os mesmos, pois as características examinadas, embora diga respeito ao mesmo objeto, são diferentes.

A.2 Processo de captura de imagens

As imagens que serão processadas pelo programa Harfa, são obtidos de gravações VHS de filmagens de relâmpagos. Essas gravações passam por um processo denominado "captura de imagens", que utiliza um computador, uma televisão e um vídeo cassete. As imagens são salvas em padrão TIFF e também há a criação de arquivo do tipo AVI. Este procedimento já foi descrito anteriormente, sendo necessário descrever a metodologia utilizada na captura das imagens. São seguidos alguns passos para captura e arquivamento desta imagens, com a finalidade de facilitar o seu manuseio:

- Primeiro, verifica-se o dia/mês/ano e o horário da gravação das imagens;
- em seguida, a fita que deverá ser processada é assistida e todas as imagens interessantes ao trabalho são anotadas, de acordo com a numeração do tempo da fita no aparelho de vídeo cassete;
- após as verificações dos itens anteriores, as imagens são capturadas em cada instante marcado, fazendo anotações, quando possível, do horário em que ocorreu a descarga;
- seguida as capturas, as imagens são salvas seguindo padrão: ano/mês/dia/horário da descarga.

Após a captura de todas as imagens de interesse da fita, os arquivos são gravados em cd-rons, permitindo todo o processamento das imagens de acordo com a metodologia de análise fractal desenvolvida.



Título

ANÁLISE DE IMAGENS DE RELÂMPAGOS POR MEIO DE TÉCNICA FRACTAL

Autor

Ana Paula Santos Novaes; Odím Mendes Junior; Elbert Einstein Nehrer Macau

Tradutor

Não há.

Editor

Origem	Projeto	Série	No. de Páginas	No. de Fotos	No. de Mapas
DMC	Pibic		56	28	0

Tipo

RPQ PRE NTC PRP MAN PUD TAE

Divulgação

Externa Interna Reservada Lista de Distribuição Anexa

Periódico / Evento

Seminário de Iniciação Científica do INPE - SICINPE 2003

Convênio

Autorização Preliminar

___/___/___
Data

[Handwritten Signature]
Heloisa Kohn Kuga
Coordenadora de Atividades Especiais
e Controle - DMC

Revisão Técnica

Solicitada Dispensada
Recebida ___/___/___ Devolvida ___/___/___

[Handwritten Signature]
Leonardo Fernando Perondi
Coordenador Geral
Engenharia e Tecnologia Especial
LI - 1074
Assinatura do Revisor

Revisão de Linguagem

Solicitada Dispensada
Recebida ___/___/___ Devolvida ___/___/___

[Handwritten Signature]
Leonardo Fernando Perondi
Coordenador Geral
Engenharia e Tecnologia Especial
LI - 1074
Assinatura do Revisor

Autorização Final

___/___/___
Data

Titular da Unidade

Palavras Chave

imagens de relâmpagos, técnica fractal



Secretaria	
_ / _ / _ Data	Recebida _ / _ / _ Devolvida _ / _ / _
_____	_____
Encaminhado Por	Devolvido Por

Controle e Divulgação		
_ / _ / _ Data	Recebido Por: _____	Devolvido Para: _____
Pronto Para Publicação em: _ / _ / _		_ / _ / _ Data
No. _____	Quant. _____	_____
		Assinatura

Observações

ANÁLISE DE IMAGENS DE RELÂMPAGOS POR MEIO DE TÉCNICA

FRACTAL

Ana Paula Santos Novaes⁶ (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)
Dr. Odim Mendes Júnior⁷ (DGE/CEA/INPE)

RESUMO

O estudo da eletrodinâmica das descargas é importante para o entendimento do fenômeno relâmpago; para seu uso em aplicações gerais; e como forma de prevenir ou monitorar seus efeitos no meio ambiente, devido inclusive o risco que apresenta para as instalações de forma geral e à própria vida. O projeto de Iniciação Científica que vem sendo realizado tem por objetivo desenvolver e implementar uma metodologia de análise das descargas elétricas atmosféricas por meio da Técnica Fractal, dando maior ênfase à análise da ramificação e da tortuosidade do canal. Na fase inicial, fez-se o embasamento teórico sobre o fenômeno relâmpago, desde a formação das nuvens Cumulonimbus até a ocorrência dos relâmpagos, e sobre a teoria fractal, considerando conceitos básicos na visão de vários teóricos. A seguir, procedeu-se a análise e escolha de ferramentas de auxílio ao processo de análise fractal das descargas. Uma das ferramentas é um programa de análise baseada na técnica de contagem de caixas. Estabeleceu-se uma metodologia de análise das imagens de relâmpagos. Na fase atual do trabalho, realizam-se a aquisição de dados para análise; aprofundamento no conhecimento da técnica fractal; e testes de análise de imagens-padrão no programa escolhido baseado na técnica de contagem de caixas. Procedeu-se ainda a busca de novos recursos computacionais capazes de aprimorar essas análises. A metodologia de trabalho aqui desenvolvida consiste em: (a) obter o comportamento espacial do relâmpago por meio de filmagens (gravações VHS); e proceder a captura das imagens em padrão AVI, utilizando programas computacionais de tratamento e análise gráfica; (b) separar os campos de imagens em padrão TIFF (com resolução temporal de 17,6 ms), criando uma base de dados para utilização nas análises realizadas utilizando a técnica fractal; e (c) aplicar-se a essas imagens um tratamento aqui criado, utilizando as ferramentas de análise. Esses procedimentos, e outros ainda em desenvolvimento, constituem uma metodologia para o estudo da morfologia dos relâmpagos, característica que está associada a parâmetros atmosféricos. Os resultados parciais obtidos foram o desenvolvimento de método para lidar com relâmpago, a definição dos critérios de tratamento das imagens e a obtenção de resultados quantitativos preliminares. Na fase de prosseguimento do trabalho, tratar-se-ão eventos de descargas selecionados para a obtenção de caracterizações fractais, considerando essencialmente a ramificação e a tortuosidade.

⁶ Aluna do Curso de Engenharia Ambiental, UNITAU. E-mail: anapaula@dge.inpe.br

⁷ Pesquisador da Divisão de Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas. E-mail: odim@dge.inpe.br