

SERGIO PEREIRA DE SOUZA

**USO DA DIMENSÃO FRACTAL DE IMAGENS DIGITAIS NA DETERMINAÇÃO DA
RUGOSIDADE SUPERFICIAL DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2011**

SERGIO PEREIRA DE SOUZA

**USO DA DIMENSÃO FRACTAL DE IMAGENS DIGITAIS NA
DETERMINAÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

APROVADA: 25 de fevereiro de 2011.

Prof. Haroldo Carlos Fernandes
(Co-orientador)

Prof. Fábio Lúcio Santos

Prof. Renato Adriane Alves Ruas

Prof. Nilson Salvador

Prof. Luciano Baião Vieira
(Orientador)

...EM TEMPOS DE GUERRA,

NUNCA PARE DE LUTAR...

A meus queridos pais
Antônio José de Souza (*in memoriam*).
e Zilah Aparecida Pereira de Souza

Às minhas irmãs e irmãos por tudo que fizeram e tem feito por mim

Aos meus amados e queridos filhinhos
Antônio Henrique Narciso de Souza e Mariana Narciso Pereira de Souza

DEDICO COM MUITO AMOR.

A Gerson Haruo Inoue
eterno amigo,
SAUDADES.

À memória do
meu querido pai,
Antônio José de Souza,

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, pela família que me deu e pelas oportunidades, a Nossa Senhora Aparecida e à Santa Rita de Cássia.

Ao meu saudoso pai Antônio José de Souza, pelo exemplo que foi, pela sabedoria, por todo esforço, dedicação e amor.

À minha querida mãe Zilah Aparecida Pereira de Souza, por todo amor, dedicação, apoio e incentivo.

Às minhas irmãs e irmãos, pelo apoio, pelo amor e incentivo incansáveis.

Aos meus filhinhos Antônio Henrique (Tititi) e Mariana, razão da renovação do ânimo e empenho, pelo amor e pelo consolo nas eventuais e penosas ausências necessárias para execução e conclusão dos trabalhos, e por isso também, à minha esposa Fernanda pela compreensão e apoio.

À Universidade Federal de Viçosa, pela estrutura e oportunidade oferecidas para a realização desse trabalho.

Ao MEC e a CAPES, pelo auxílio financeiro ao longo do curso e pelas oportunidades e incentivos criados para a desejável qualificação de professores, apostando no Brasil e nos brasileiros.

Ao professor Dr. Luciano Baião Vieira, pela orientação, pela amizade e pelos ensinamentos.

Ao professor Dr. Haroldo Carlos Fernandes, pela orientação na condução e execução do projeto de pesquisa, pelos ensinamentos e pela amizade.

Ao professor Dr. Carlos Ernesto G. R. Schaefer, pela co-orientação desse trabalho, pelos conselhos, pelos conhecimentos adquiridos e pela amizade.

Ao professor Dr. Nerilson Terra Santos, pela co-orientação desse trabalho, pela orientação na estruturação do delineamento experimental e

posterior extração das informações desejadas e pela amizade.

Aos professores da UFRRJ Jorge Luiz Pimenta Mello e Carlos Alberto Alves Varella pela pronta colaboração e incentivo.

Ao brilhante grupo do Laboratório de Processamento Digital de Sinais e Imagens (LPDSI) do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) que desenvolveu o complexo e eficiente programa para determinação da Dimensão Fractal, nas pessoas dos pesquisadores Maysa Macedo, Dario Oliveira, Marcelo Portes de Albuquerque e Marcio Portes de Albuquerque.

Ao companheiro e relevante colaborador, mestrando do Departamento de Estatística da UFV, o jovem Anderson Rodrigo Silva.

Ao professor Dr. José Marinaldo Gleriani pela ajuda, aconselhamento e empréstimo de material didático e de laboratório e as valiosas informações prestadas, sempre de forma solícita e gentil, exemplificando a desejável postura de um professor- pesquisador frente às demandas inerentes aos trabalhos de estudantes, não importando, como no meu caso, que fossem oriundos de outros Departamentos da Universidade.

Ao mestrando do Departamento de Engenharia de Agrimensura Giovanni Chagas pela incansável ajuda e persistência, sem os quais o alcance desse trabalho não seria possível.

Aos professores Dr. Francisco de Assis, Dr. Ricardo Capúcio e Dr. Mauri Teixeira Martins pelos conhecimentos que me foram repassados, pela colaboração, pelos conselhos e empréstimo de material.

Aos professores Doutores Elpídio Inácio Fernandes Filho, Raphael Bragança Alves Fernandes, Roberto Ferreira de Novais e Caetano Marciano de Souza, pelos ensinamentos, orientações e valiosa colaboração.

A todos os meus professores, desde a primeira, no jardim de infância, a Sra. Maria das Graças, pois todos, em todos os níveis de ensino contribuíram, com igual importância, para minha formação.

Ao saudoso amigo Gerson Haruo Inoue, o nosso "Buda", pela amizade, ajuda, e acima de tudo exemplo de pessoa humana, digno e valente.

Aos amigos de curso, em especial ao Antônio, Walter, Willian, Alisson, Mário, Daniel, Wagner Santos, Geice, Amanda, Paula, Ronaldo, Enrique e Francelino, pela companhia, pelos conselhos, ajuda, sugestões e

amizade que tornaram o ambiente acadêmico ainda mais agradável.

Aos colegas da pós-graduação pelos momentos de solidariedade, pela amizade, ajuda e pela alegria compartilhada dentro e fora da universidade: João Cleber, Danilo, Murilo, Quirino, Renato, Diogo, Gislaine, Ariston, Marcos e Rafael além dos demais colegas do programa.

Aos servidores do Departamento de Engenharia Agrícola Claudenílson, Marcos, Galinari, Renato, Graça Freitas e em especial à Edna, e do Laboratório de Mecanização Agrícola e de forma muito especial ao Marcelo, pelo apoio nos trabalhos e montagem do experimento e aos demais funcionários do DEA/UFV.

Àqueles que contribuíram, à sua forma, para a conclusão desse trabalho: Maria Helena Ferreira e família, Carlos Santos e demais voluntários oradores.

Ao Sr. Ivo, Edifício Arthur Bernardes, pela generosidade e presteza em ajudar de forma tão simpática e gratuita.

A todos que colaboraram durante os trabalhos de campo e a todos que contribuíram com esse trabalho nas suas mais diversas formas.

OBRIGADO A TODOS VOCÊS.

BIOGRAFIA

SERGIO PEREIRA DE SOUZA, filho de Antônio José de Souza e Zilah Aparecida Pereira de Souza, nasceu em Muriaé, MG, aos 16 de abril de 1966.

Em julho de 1989, formou-se em Licenciatura em Ciências Agrícolas pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

De agosto de 1989 a abril de 1991, foi professor da Escola Municipal Família Agrícola em Muriaé.

Em fevereiro de 1991 ingressou, via concurso público para professor efetivo, na Secretaria Estadual de Educação do Rio de Janeiro, atuando em um colégio agrícola(CIAPI), na cidade de Itaperuna, RJ, permanecendo até dezembro de 1994.

Ainda no ano de 1994 é aprovado em concurso público federal para assumir, já em janeiro de 1995, no Colégio Agrícola Nilo Peçanha, na cidade de Pinheiral, RJ, então vinculado à UFF. Desse, transferiu-se em outubro de 2010 para o Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, Campus Muriaé, onde atua até o momento.

Em janeiro de 2002 defendeu a dissertação concluindo assim o Mestrado em Agronomia, área de concentração: Máquinas Agrícolas, na ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

No ano de 2006 ingressou no programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, nível de doutorado, área de concentração: Mecanização Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, MG, concluindo-o em 25 de fevereiro de 2011.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Rugosidade superficial do solo	4
2.1.1 Métodos de obtenção da rugosidade superficial do solo.....	7
2.2 Sensoriamento remoto e imagens digitais	15
2.3 Dimensão fractal.....	16
2.3.1 Dimensão de homotetia	23
2.3.2 Método de Hausdorff-Besicovitch	26
2.4 Fotogrametria	30
3. MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1 Delineamento experimental	36
3.2 Determinação da umidade do solo	37
3.3 Determinação do Diâmetro Médio Ponderado (DMP)	38

3.4 Obtenção das superfícies com rugosidade distintas	40
3.5 Emprego da fotogrametria	43
3.5.1 Estrutura para obtenção das imagens digitais e do par estereoscópico.....	44
3.5.2 Pontos de controle	47
3.6 Obtenção do índice de rugosidade com o perfilômetro	50
3.7 Emprego do software MatLab	53
3.8 Determinação da Dimensão Fractal em duas formas.....	53
3.8.1 Determinação da Dimensão Fractal empregando a Fotogrametria.....	53
3.8.2 Determinação da Dimensão Fractal com imagens bidimensionais.....	57
3.9 Análise estatística dos métodos avaliados	59
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1 Umidade do solo	60
4.2 Diâmetro Médio Ponderado (DMP)	62
4.3 Índice de Rugosidade	63
4.4 Dimensão Fractal pelo método fotogramétrico.....	66
4.5 Dimensão Fractal de imagens bidimensionais.....	68
5. CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS.....	83
ANEXO A - Código fonte do software MatLab para binarizar uma imagem de entrada	84
ANEXO B - Código fonte do software MatLab para obtenção da dimensão fractal	87

LISTA DE TABELAS

1	Valores da umidade gravimétrica do solo em cada parcela, tratamento, bloco e geral.....	61
2	Análise de variância para umidade do solo em porcentagem...	62
3	Diâmetro Médio Ponderado (DMP) do solo em cada tratamento.....	62
4	Índice de Rugosidade (cm) de todas as parcelas experimentais empregando-se o perfilômetro.....	63
5	Análise de variância para o índice de rugosidade do solo obtido com emprego do perfilômetro para as unidades experimentais.....	64
6	Valores da Dimensão Fractal empregando a fotogrametria.	67
7	Análise de variância para valores da Dimensão Fractal pelo método fotogramétrico.	67
8	Valores obtidos pelo método da Dimensão Fractal a partir de imagens bidimensionais.....	68
9	Análise de variância para o método da Dimensão Fractal obtidos das imagens digitais bidimensionais.	69
10	Média e desvio padrão do Índice de Rugosidade, da Dimensão Fractal fotogramétrica, da Dimensão Fractal de imagens bidimensionais, da Umidade do solo e valores absolutos do Diâmetro Médio Ponderado (DMP) em cada Tratamento.....	70

LISTA DE FIGURAS

1	Perfilógrafo pantográfico	9
2	Perfilógrafo acoplado ao implemento.....	10
3	Perfilógrafo elétrico de Coelho et al. (1995)	10
4	Perfilômetro de hastes empregado.....	11
5	Rugosímetro a laser e respectivo perfil tridimensional da superfície do solo obtido.....	12
6	Brócolis como objeto fractal natural autossimilar perfeito.....	18
7	Triângulo de Sierpinski, seqüência da geração iterativa.....	18
8	Imagem microscópica de colônias de fungos, após processamento e dimensão fractal D.....	22
9	Antena fractal empregada em aparelhos de telefonia móvel....	22
10	Quadrados ampliados para visualização das escalas.....	23
11	Escalas de ampliação de figuras geométricas Euclidianas.....	24
12	Curva de Koch com a ampliação do objeto original resultando em quatro objetos auto-similares.....	25
13	Conjunto, poeira ou pente de Cantor.....	26
14	Aplicação do método box-counting em uma reta.....	27
15	Curva de Koch submetida de forma esquemática ao método box-counting.....	28
16	Método box-counting para o conjunto de Cantor.....	29
17	Triângulo de Sierpinski submetido ao método box-counting.....	30

18	Preparo do solo com emprego do arado de discos.....	40
19	Preparo do solo com emprego do arado de discos mais duas passadas da grade de discos.....	41
20	Preparo do solo com emprego do arado de discos mais duas passadas da grade de discos e uma passada da enxada rotativa.....	41
21	Preparo do solo com emprego do escarificador vendo-se a peculiar preservação da cobertura superficial.....	42
22	Preparo do solo com emprego da enxada rotativa.....	42
23	Vista geral da área com a distribuição das unidades experimentais.....	43
24	Estrutura de fixação para obtenção do par estereoscópico com detalhe da instalação da câmara e dispositivo receptor e nível multiplano.....	45
25	Imagem da parcela F na qual as etiquetas brancas fixadas no solo marcam os nove pontos de controle e os símbolos "X" localizam os seis pontos obtidos via estereoscopia.....	49
26	Janela do aplicativo LPS durante identificação dos pontos de controle e inserção dos valores das suas cotas para reprodução do modelo tridimensional.....	50
27	Perfilômetro de 20 hastes fixado sobre a estrutura metálica com as marcações das três posições (1, 2 e 3) de fixação.....	52
28	Obtenção da linha contínua representativa de cada parcela experimental.....	55
29	Abertura da imagem da linha do perfil contínuo do solo dentro do ambiente do software MatLab para obtenção do valor da dimensão fractal.....	55
30	Etapa intermediária ao cálculo para obtenção da dimensão fractal pelo software MatLab.....	56
31	Conclusão do cálculo da dimensão fractal ao alto à esquerda, submetendo-se, como nas demais parcelas, apenas a linha do perfil do solo.....	57

32	Sequência de obtenção da área central das imagens para determinação da Dimensão Fractal de imagens bidimensionais. “A” antes do processamento e “B” após.....	58
33	Etapa final de obtenção do valor da Dimensão Fractal para o método das imagens bidimensionais.....	59
34	Leituras do perfilômetro na mesma parcela em duas posições, separadas de 0,25 m entre o posicionamento do perfilômetro em “A” e em “B”	66

RESUMO

SOUZA, Sergio Pereira de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2011. **Uso da Dimensão Fractal de imagens digitais na determinação da rugosidade superficial do solo.** Orientador: Luciano Baião Vieira. Co-orientadores: Haroldo Carlos Fernandes, Nerilson Terra Santos e Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer.

Para confrontar dois métodos de determinação da rugosidade superficial do solo, o tradicional que fornece o Índice de Rugosidade que emprega um perfilômetro com o novo método aqui proposto que fornece a Dimensão Fractal, empregou-se uma área de 50 m X 60 m, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, paralela ao aeródromo da cidade de Viçosa, MG. Estabeleceu-se cinco tratamentos, cada um representando uma forma distinta de preparo do solo que juntos formavam um bloco, foram constituídos cinco blocos resultando nas vinte e cinco parcelas experimentais. Cada parcela possuía dimensão de 12 m X 4 m de onde obteve-se tanto as imagens digitais quanto as leituras do perfilômetro. Uma estrutura metálica de 1 m² foi empregada para delimitar a área útil dentro da unidade experimental. A determinação da Dimensão Fractal foi feita em duas formas: Dimensão Fractal com emprego da fotogrametria e Dimensão Fractal processando diretamente as imagens bidimensionais. Na primeira forma, submeteu-se as imagens digitais a técnicas fotogramétricas para a extração dos valores de alturas dos torrões ou cotas Z. Por ocasião da coleta de dados, obteve-se nove valores de cotas denominados pontos de controle, medidos com auxílio de uma trena e necessários para instrução do software fotogramétrico empregado: o Leica Photogrammetry Suíte ou LPS. Privilegiou-se leituras mais centrais nas imagens, onde tende-se a registrar menores distorções e erros óticos. Aos nove pontos de controle juntaram-se

outros seis obtidos com emprego do software LPS, esses quinze valores, sob processamento no software Excel, forneceram uma linha gráfica tomada como contínua e representativa do perfil do solo. A segunda forma da Dimensão Fractal empregou as mesmas imagens digitais do solo mobilizado processando-as previamente no aplicativo Microsoft Office Picture Manager de modo a obter uma área útil central retangular, delimitada pelos nove pontos de controle identificáveis visualmente nas imagens. Em ambas as condições os produtos gráficos finais foram submetidos a uma rotina elaborada no software MatLab R2007a que forneceu valores da Dimensão Fractal. O perfilômetro foi nivelado e posicionado sobre a estrutura metálica de 1 m² nas cinco superfícies mobilizadas do solo e cujas leituras de alturas foram inseridas em um modelo matemático fornecendo o Índice de Rugosidade. O método tradicional que fornece o Índice de Rugosidade não distinguiu nenhum dos cinco tratamentos, o que também ocorreu com o método da Dimensão Fractal com emprego da fotogrametria. O método da Dimensão Fractal de imagens bidimensionais foi o único que distinguiu dois tratamentos, sendo o método mais efetivo e, portanto recomendado como substituto do método tradicional. Também foi considerado menos oneroso que o método tradicional e que o método da Dimensão Fractal com emprego da fotogrametria, podendo futuramente ser avaliado para cobertura de áreas mais extensas.

ABSTRACT

SOUZA, Sergio Pereira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2011. **Using the Fractal Dimension of digital images in determining the soil surface roughness.** Adviser: Luciano Baião Vieira. Co-advisers: Haroldo Carlos Fernandes, Nerilson Terra Santos and Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer.

To compare two methods for determining the surface roughness of the soil, which provides the traditional roughness index that employs a profiler with the new method proposed here provides that the fractal dimension, we used an area of 50 m X 60 m, belonging to Universidade Federal de Viçosa, parallel to the runway of the city of Viçosa, MG. It was established five treatments, each representing a distinct form of tillage that together formed a block, five blocks were formed resulting in a twenty-five plots experimental. Each plot had dimensions of 12 m X 4 m from which we obtained both the digital images as the profilometer readings. A metal structure of 1 m² was used to delimit the usable area inside the experimental unit. Determination of Fractal Dimension was done in two ways: employment with Fractal Dimension and Fractal Dimension of photogrammetry processing bidimensional images directly. In the first form submitted to the digital images to photogrammetric techniques for extracting the height of lumps or quotas Z. On the occasion of gathering data, we obtained nine values of quotas called control points, measured with a tape and instruction needed for photogrammetric software used: Leica Photogrammetry Suite or LPS. We privileged readings more central in the images, which tend to register less optical distortions and errors. At nine control points were joined by six other software obtained through the use of LPS, these fifteen values under processing in Excel software, provided a graphic line taken as continuous and representative of the soil profile. The second form of Fractal Dimension

used the same digital images of prepared soil before processing them in Microsoft Office Picture Manager application to obtain a useful central rectangular area bounded by the nine control points visually identifiable in the images. In both conditions the final graphics products underwent an elaborate routine in MatLab R2007a which provided values of Fractal Dimension. The profilometer was leveled and positioned on the metal structure of 1 m² in the five areas of soil mobilized and whose height readings were entered into a mathematical model providing Roughness Index. The traditional method that provides the level of roughness could not distinguish any of the five treatments, which also happened with the Fractal Dimension method employed photogrammetry. The method of fractal dimension of two-dimensional images was the only one who could distinguish between two treatments, being the most effective and therefore recommended as a substitute for the traditional method. Also considered was less costly than the traditional method and the method of Fractal Dimension with use of photogrammetry, which may in future be assessed to cover larger areas.

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da rugosidade superficial do solo se constitui em importante informação para um manejo racional de recursos ambientais como solo e água, pois contribui na determinação da propensão de um solo à erosão hídrica, ao fornecer indicações da sua capacidade de infiltração e de armazenamento da água, ainda que de forma fugaz.

Pode-se descrever a rugosidade superficial do solo como sendo a sua microtopografia, não importando se a escala considerada é métrica ou submétrica e cuja determinação pode ser feita por métodos destrutivos ou de contato e por métodos telemétricos.

Dentre os métodos considerados destrutivos o de emprego recorrente é o que utiliza o perfilômetro de hastes encontrando-se aplicações pontuais em métodos que empregam ondas sonoras e ainda os que empregam laser.

Apesar de ser o equipamento mais usual, não existe um padrão no emprego e constituição dos perfilômetros, observando-se a confecção de perfilômetros específicos conforme a aplicação pretendida, havendo, portanto, variações nas dimensões, número e espaçamento entre as hastes.

Na direção de caminamento com o perfilômetro no campo não há consenso, podendo-se identificar duas apresentações da rugosidade: a aleatória e a orientada, caso a direção de caminamento seja transversal ou longitudinal à direção de preparo do solo, respectivamente.

A indefinição também é observada na obtenção dos valores das cotas registrados pelas hastes, pois têm-se: leitura direta das hastes graduadas, registro gráfico em papel e fotografias das hastes contra um anteparo de cor discrepante com as hastes. Também inexistente um padrão de

posicionamento em relação ao nível de referência do perfilômetro no solo para obtenção das leituras.

Propõe-se um novo método de determinação da rugosidade superficial do solo baseado na geometria fractal, obtendo-se um valor da Dimensão Fractal das imagens digitais de cada forma distinta de preparo do solo.

A geometria fractal se ocupa da análise de objetos naturais que possuem formas não convencionais como círculos, retângulos, triângulos e esferas, mas sim formas com perímetro irregular como os descritos, por exemplo, pelos litorais como o da Inglaterra que já possui inclusive um valor de dimensão fractal determinado.

Assim, com essa nova geometria tem-se a percepção da irregularidade a cada nova escala de observação de modo a que se determine e confronte valores dessa irregularidade, cuja aplicação a torrões do solo é a base desse trabalho.

A dimensão fractal já se constitui em uma robusta ferramenta por sua efetividade sendo empregada na medicina, sensoriamento remoto, geografia, administração e outras.

Estabelecido o problema da necessidade de se padronizar e melhorar a inconsistente metodologia empregada atualmente para a determinação da rugosidade superficial do solo apresentou-se esse trabalho como forma de solução, considerando o novo método promissor, e que já se mostrou eficiente nessas áreas citadas, às quais foi submetido.

Nesse contexto, esse trabalho apresenta o objetivo geral de empregar a Dimensão Fractal de imagens digitais da superfície do solo mobilizada como indicador da sua rugosidade superficial. Essa determinação será feita em duas formas distintas: Dimensão Fractal com emprego da fotogrametria e Dimensão Fractal com emprego direto das imagens digitais bidimensionais.

Assim, propôs-se uma alternativa para o atual Índice de Rugosidade Superficial do solo obtido com perfilômetro de hastes por uma das formas propostas que determina a Dimensão Fractal.

Como etapas sequenciais para que se atingisse o objetivo geral foi necessário que se adotasse procedimentos metodológicos descritos como objetivos específicos, que são:

- Avaliar a estrutura para obtenção de imagens digitais de áreas submetidas a cinco condições distintas de mobilização do solo para obtenção da Dimensão Fractal nas duas formas propostas;
- Determinação e análise do Índice de Rugosidade das áreas mobilizadas com emprego de um perfilômetro de hastes;
- Avaliar a efetividade de uma rotina no software MatLab versão R2007a em fornecer tanto a Dimensão Fractal com emprego da fotogrametria quanto da Dimensão Fractal das imagens bidimensionais do solo mobilizado;
- Determinar e analisar os valores de Dimensão Fractal obtidos com os métodos de emprego da fotogrametria e o das imagens bidimensionais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Rugosidade superficial do solo

A rugosidade superficial do solo se caracteriza pela presença de pequenas elevações e depressões na superfície (BERTOL et al., 2007), influenciando diretamente na maior permanência da água das chuvas retida na superfície (VÁZQUEZ e GONZÁLEZ, 2003a). Com isso adia e reduz o escoamento superficial além de diminuir a velocidade da água, que não terá, portanto, o arraste e a condução dos agregados do solo facilitados (MELLO, 2004; BERTOL et al., 2006a; GUZHA, 2004; BERTOL et al., 2006b).

Também pode ser entendida como sendo a microtopografia, independente se a escala considerada é métrica ou submétrica (VÁZQUEZ et al., 2007), podendo ser obtida pelos chamados métodos destrutivos ou de contato, esses de uso recorrente, e pelos métodos telemétricos, sem contato direto com as estruturas do solo.

Os mecanismos sulcadores e de cobertura de sulcos das semeadoras-adubadoras são projetados com vistas a registrarem melhor desempenho sob condições de menores valores da rugosidade superficial do solo (REIS, 2003).

Vázquez e González (2003b) consideram que a rugosidade superficial do solo é uma característica importante e que exerce forte influência sobre suas propriedades hidrológicas. Esses autores ainda citam o emprego do Índice de Rugosidade em modelos de predição do armazenamento temporário da água no solo, dada a importância da rugosidade para a determinação indireta da retenção de água no solo.

A rugosidade superficial do solo é caracterizada pela medida da variabilidade encontrada no microrrelevo do solo e nas irregularidades

superficiais, por sua vez determinadas pelo tamanho dos agregados, bem como das operações de preparo do solo e cujas medidas são feitas tradicionalmente por perfilômetros de hastes metálicas (BERTOLANI et al., 2000).

Tanto o Índice de Rugosidade Superficial do solo quanto o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) são ferramentas robustas para se avaliar a redução total da perda de água para diversas situações de manejo da superfície do solo, além da redução da perda de solo total (VOLK, 2006).

O perfilômetro constitui-se de uma estrutura dotada de hastes de madeira montadas paralelamente nas quais são feitos furos igualmente distanciados nos quais são inseridas outras hastes, verticalmente dispostas de modo a movimentarem-se conforme a extremidade inferior é apoiada no solo (GAMERO e BENEZ, 1990).

Maior retenção e infiltração da água, redução da velocidade e do volume do escoamento superficial amenizando os efeitos da erosão hídrica, são benefícios advindos do aumento da rugosidade superficial do solo obtida pelo preparo do solo (CARVALHO FILHO et al., 2007). Esses autores concluem advertindo sobre a necessidade de se melhorar a metodologia para obtenção do índice de rugosidade, tradicionalmente obtido com emprego de um perfilômetro.

Conforme descrito por Boller et al. (1997) e Levien et al. (2003) com as operações de preparo do solo ocorrem variações na rugosidade conforme o sistema empregado assim como os implementos utilizados, obtendo-se menor rugosidade com as grades e maior com o emprego do escarificador, sendo que a cobertura vegetal não se mostra influente, com maior significância, sobre a rugosidade superficial do solo.

Também as distintas formas de preparo do solo podem suscitar maior ou menor exposição de porções mais profundas da superfície do solo, conforme descrito por Santos (1993) e Silva et al. (1999).

Além da diversidade de aplicação na agricultura (LINO, 2002; MELLO et al., 2003; LEVIEN et al., 2003; PÉREZ-GOMAR et al., 2002), a determinação da rugosidade superficial é um parâmetro relevante com

aplicação em diversas áreas como: engenharias mecânica, aeronáutica, de segurança e agrônômica (MOITA, 2004), metalúrgica (DIAS e MOTTA, 2002), agrícola (UNICAMP, 2007), ambiental (SILVEIRA, 2004), de tráfego (CIBERMÉTRICA, 2007), arquitetura (COSTA, 2001), sensoriamento remoto (ACCIOLY et al., 1998), e odontologia (PANIAGO, 2006).

O preparo reduzido do solo empregando um escarificador mostrou-se eficiente para o controle e prevenção da erosão, por permitir a permanência de um mínimo de 30% de cobertura após sua utilização no preparo do solo além de permitir boa desagregação do solo (FERNANDES et al., 2001; DENARDIN, 1987).

As diferenças na rugosidade superficial do solo obtidas sob ação de diferentes implementos é um importante parâmetro para a avaliação do efeito que esses implementos causam na camada arável do solo, pois conforme Santos (1993) o índice de rugosidade pode ser elevado em média em 3,3 vezes após o preparo do solo.

Os sistemas de preparo do solo existentes afetam a rugosidade superficial do solo de forma diferenciada, e, conseqüentemente, o escoamento superficial que por sua vez influi diretamente no processo erosivo, por causa das diferentes intensidades de movimentação do solo. O preparo intensivo do solo, principalmente sem o uso de práticas conservacionistas, favorece as perdas de solo e água por erosão, comprometendo sua capacidade para a produção agrícola, além de outros problemas causados ao ambiente (SILVA et al., 1999).

Variações na matéria orgânica e na umidade encontradas nas distintas camadas do solo mobilizadas, também influem na rugosidade superficial do solo (TRINDADE et al., 2009).

Ao analisar os efeitos da rugosidade superficial do solo e tamanho de agregados em solos sob diferentes condições de manejo na redução da velocidade do escoamento superficial da água, Volk e Cogo (2009) descrevem como sendo correlacionadas essas duas variáveis, registrando que com acréscimo no DMP (Diâmetro Médio Ponderado) também verificava-se aumento na rugosidade superficial do solo.

Segundo Centurion et al. (2007) existem diferenças na estrutura dos solos decorrentes da sua formação de modo a se verificar diferenças granulométricas, mineralógicas além da presença de matéria orgânica que ainda são passíveis de alterações sob distintas condições de uso e cultivo.

É esperado um crescimento concomitante da umidade do solo e do Diâmetro Médio Ponderado (DMP). Essa correlação é esperada, pois, segundo Van Lier e Albuquerque (1997), o Diâmetro Médio Ponderado dos agregados do solo é dependente, entre outros fatores, da umidade do solo, além da matéria orgânica presente e da sua própria mineralogia.

Apesar da eficiência no controle da erosão pela maior proteção ao solo contra a insolação direta e da chuva, o sistema de plantio direto apresenta uma resistência à infiltração da água por não envolver, tradicionalmente na sua concepção, o revolvimento do solo, o que somado ao trânsito do maquinário impõe redução na rugosidade superficial e modificação na estrutura.

Neste contexto Câmara e Klein (2005), analisaram os efeitos da escarificação para aumentar a rugosidade superficial do solo e, portanto a maior infiltração da água pela maior porosidade e menor densidade conferidas ao solo.

2.1.1 Métodos de obtenção da rugosidade superficial do solo

Existem diversos métodos de quantificação da rugosidade na camada mobilizada do solo e dentro de cada método também existe uma diversidade de equipamentos empregados.

Os métodos para a obtenção da rugosidade superficial do solo são frequentemente classificados como: mecânicos, acústicos e óticos, sendo empregados para suas aplicações, respectivamente, os seguintes equipamentos: perfilômetro (MACHADO et al., 1996; CONTE et al., 2007; ROSA, 2007), ecobatímetro (DIAS e MOTTA, 2002), e rugosímetro a laser (MIRANDA e GONZALEZ, 1998; OELZE et al., 2003).

Técnicas perfilométricas são relevantes para diversas aplicações industriais, biológicas, médicas e, no caso da engenharia agrícola podem ainda ser empregadas na análise qualitativa do preparo do solo, descrevendo a rugosidade superficial ou microrrelevo do solo (LINO, 2002).

As técnicas acústicas podem ter aplicação na determinação da rugosidade superficial do solo, conforme descrevem Oelze et al. (2003) que confrontaram um instrumento tipo ecobatímetro com um microrrugosímetro a laser encontrando boa correlação entre os métodos, destacando que o primeiro apresenta a vantagem de fornecer medidas acuradas a baixo custo. Com base no perfil obtido com esses instrumentos os autores aplicaram os valores do desvio padrão das leituras em um modelo para obtenção da dimensão fractal do microrrelevo solo.

O conceito de rugosidade do solo, inicialmente, era basicamente qualitativo, porém, Lado Liñares et al. (1998) consideram necessário o emprego de variáveis mais objetivas para descrevê-la. Citam os diversos modelos para obtenção do índice de rugosidade disponíveis que, porém, não oferecem uma interpretação física sobre como a rugosidade se manifesta espacialmente, e apontam os índices propostos por Kuipers (1957) e Allmaras et al. (1966) como sendo os primeiros modelos empregados e ainda de aplicação recorrente.

Com o objetivo de determinar o efeito da escarificação e da compactação nas propriedades mecânicas do solo sob plantio direto, Rosa (2007) empregou um modelo de perfilômetro dotado de 31 hastes espaçadas de 0,015 m entre si, tendo como fundo uma lona com graduação a cada 0,05 m. Assim, obteve o empolamento do solo definido como sendo o aumento do volume do solo ocorrido após sua mobilização.

Ao analisar as formas de determinação da rugosidade superficial do solo Mialhe (1996) descreve alguns instrumentos que foram empregados inicialmente como o perfilógrafo pantográfico do início do século XX, e outro de 1938 que era acoplado ao implemento de preparo do solo para registro simultâneo do perfil do solo.

Cita ainda o perfilômetro elétrico de Coelho et al. (1995) e um perfilômetro de hastes que é o modelo de empregado mais freqüente.

Esses quatro espécimes são descritos, respectivamente, nas Figuras 1, 2, 3 e 4, abaixo.

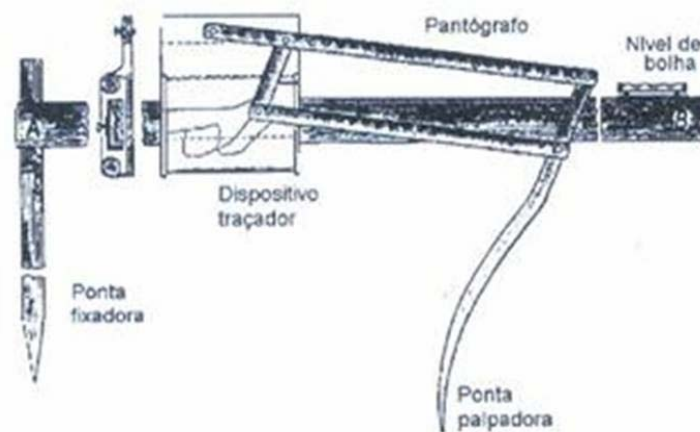


Figura 1. Perfilógrafo pantográfico. Adaptado de Mialhe (1996).

Apesar da preocupação em já obter registros gráficos do perfil do solo analisado, esse perfilógrafo foi desenvolvido no início do século XX. O perfilógrafo acoplado ao implemento foi empregado pela primeira vez em 1938 e também era equipado com registrador gráfico, neste caso para acompanhar a profundidade e o perfil do solo mobilizado.

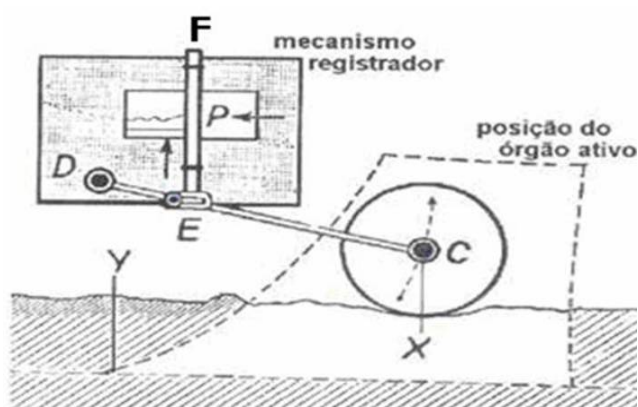


Figura 2. Perfilógrafo acoplado ao implemento. Adaptado de Mialhe (1996).

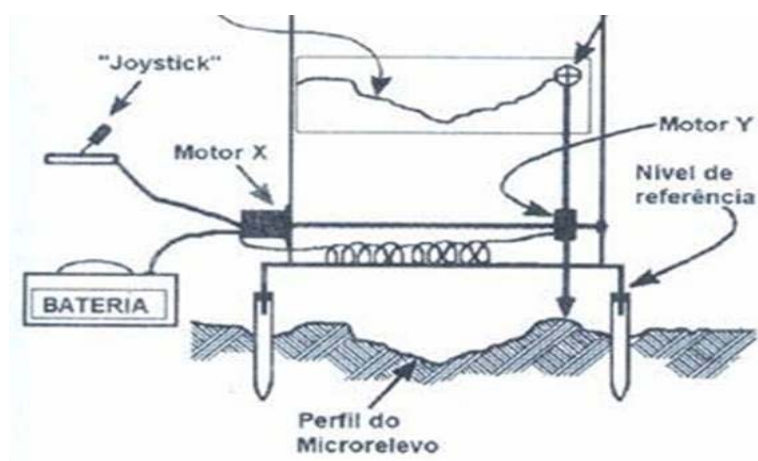


Figura 3. Perfilógrafo elétrico de Coelho et al. (1995).

O perfilógrafo desenvolvido por Coelho et al. (1995) apresentava dispositivos elétricos que permitiam que uma estrutura percorresse o perfil do solo mobilizado, de modo que o registro gráfico fosse realizado simultaneamente.

Registra-se a ocorrência de variações dimensionais e construtivas descritas de forma recorrente nos diversos trabalhos nos quais esse equipamento é empregado.

O perfilômetro descrito na Figura 4 representa a estrutura construtiva mais comum dentre os modelos empregados atualmente para determinação da rugosidade superficial e da camada mobilizada do solo.



Figura 4. Perfilômetro de hastes empregado. Adaptado de Reis (2009).

Ao descreverem a avaliação técnica de um equipamento para correção do microrrelevo do solo em área de cultivo de arroz, Alonço et al. (2006) citam o emprego de um perfilômetro dotado de 21 hastes para avaliar a rugosidade superficial do solo antes e após seu emprego, determinando, dessa forma, sua eficiência.

Lanças (2007) ao analisar o efeito do rodado sobre uma superfície preparada, em caixa de solo, empregou um rugosímetro a laser, mostrado na Figura 5, obtendo o perfil tridimensional superficial desse solo, de modo a analisar os efeitos de compactação de diversos tipos de pneus de borracha.

É recorrente a citação do termo rugosímetro para indicação do equipamento empregado ao nível de laboratório, para superfícies metálicas e sintéticas e de perfilômetro para o emprego ao nível de campo, não importando se emprega o princípio do contato direto ou indireto.

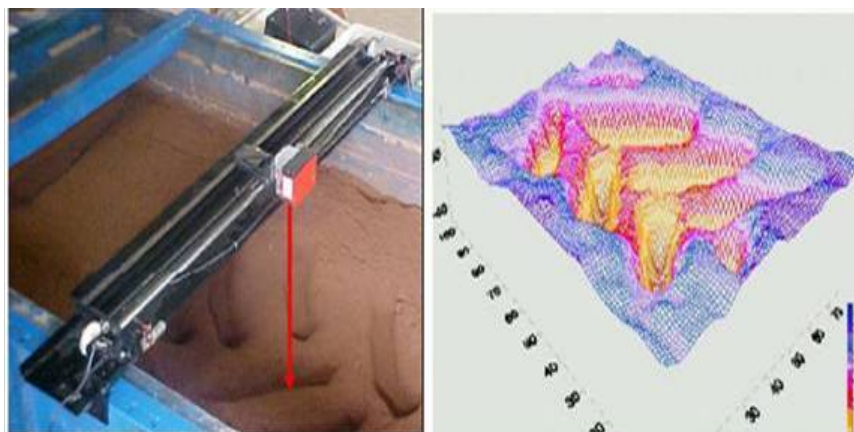


Figura 5. Rugosímetro a laser e respectivo perfil tridimensional da superfície do solo obtido. Adaptado de Lanças (2007).

O método mecânico com o emprego do perfilômetro é, normalmente, o mais utilizado, restando aos demais métodos e equipamentos uma aplicação ao nível de laboratório por restrições ao seu emprego sob ação da luz solar e outros fatores climáticos, não condicionados no campo, apesar do promissor emprego.

Os perfilômetros têm um emprego consagrado na determinação da rugosidade superficial do solo e na camada mobilizada do solo, porém, ocorrem distinções nos modelos conforme o interesse de aplicação, sendo que as maiores variações ocorrem nas dimensões, número e espaçamento entre as hastes. Para se obter os valores das cotas pode-se empregar: hastes graduadas, registro gráfico em papel e fotografias das hastes (CARVALHO et al., 2003).

A redução da rugosidade superficial do solo foi analisada sob ação de chuva simulada e diferentes sistemas de preparo do solo por Castro et al. (2006), que descrevem o emprego de um rugosímetro dotado de 100 varetas cujas leituras obtidas do perfil do solo foram empregadas para a determinação do índice de rugosidade do solo.

Esses autores utilizaram o desvio padrão dos valores das leituras das alturas das hastes do perfilômetro posicionadas no solo, eliminando valores que posicionavam-se dentro da faixa de 10% tanto do limite superior

quanto do limite inferior, concluindo que esse procedimento visava reduzir os erros causados por leituras erráticas.

Ao considerar que a rugosidade do solo permite avaliar, de forma indireta, a retenção de água nas microdepressões, Bertolani et al. (2000) utilizaram análises geoestatísticas para a determinação da sua variabilidade espacial. Empregaram para isso um rugosímetro de agulhas para condições de campo e outro, a laser, para superfície simulada, encontrando alta dependência espacial da rugosidade do solo nas duas condições avaliadas.

Ressaltam ainda a limitação do rugosímetro a laser em ser operado em condições de campo por restrições em ser exposto à radiação solar que induziria a erros consideráveis nas leituras, diferentemente do rugosímetro de agulhas. Este, porém, apresenta a limitação de interferir no microrrelevo do solo, impedindo que mais de uma leitura seja feita no mesmo ponto, de modo confiável.

Um dos modelos mais empregados na determinação da rugosidade superficial do solo é o descrito por Vázquez e González (2003b), obtido a partir do modelo proposto por Allmaras et al. (1966) e que é descrito na Equação (1).

$$IR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(Y_i - \bar{Y} \right)^2}{n}} \quad (1)$$

Em que:

IR = Índice de rugosidade do solo, cm;

Y_i = altura de cada haste, cm;

$\bar{Y}$ = média das alturas, cm, e,

n = número de leituras.

As operações de preparo do solo impõem um incremento na variabilidade da rugosidade superficial do solo registrando-se uma amplitude de até 0,0512 m contra 0,0085 m obtidos antes do preparo do solo, sendo que implementos como escarificador e grade são responsáveis pelos maiores índices de rugosidade (SCHICK et al., 2000).

O modelo descrito por Carvalho Filho et al. (2007) é apresentado na Equação (2).

$$\sigma_Y = \sigma_X h_m \quad (2)$$

Em que:

σ_Y = estimativa do índice de rugosidade, mm;

σ_X = desvio-padrão entre os logaritmos das alturas, mm, e,

h_m = média das alturas, mm.

Finalmente, o modelo proposto por Câmara e Klein (2005), mostrado na Equação (3), não mais emprega o desvio ou o erro padrão, e sim os valores absolutos das cotas ou leituras das hastes do perfilômetro.

$$IR = \Sigma Y^2 - \sqrt{\frac{(\Sigma Y)^2}{n}} \quad (3)$$

Em que:

IR = Índice de Rugosidade, mm;

Y = cotas ou alturas das hastes, mm, e,

n = número de leituras.

2.2 Sensoriamento remoto e imagens digitais

Por sensoriamento remoto entende-se a obtenção de informações através da emissão de energia de objetos, no amplo espectro eletromagnético, empregando-se para isso sensores inseridos em satélites, câmeras digitais e analógicas, estações terrestres e outros. Isso é possível pela emissão ou reflectância de parte da energia recebida pelo objeto e que varia conforme o comprimento de onda incidente, à qual se denomina assinatura espectral (SILVA JÚNIOR, 2006).

Como emprega princípios de telemetria, com o sensoriamento remoto obtêm-se informações sem ação destrutiva com possibilidade de maior cobertura da área analisada e de forma instantânea, sendo sua obtenção ser facultada ao nível aéreo, orbital e terrestre conforme proximidade entre item a ser analisado e a instrumentação de coleta de dados (Abrahão, 2007).

O emprego de câmeras digitais não-métricas para trabalhos em fotogrametria é viável, sendo sua restrição o menor tamanho do sensor, implicando na obtenção de maior número de imagens e de pontos de controle para maior precisão (RUY et al., 2007).

Analisando o efeito da calibração em câmeras digitais Ruy et al. (2008) consideram que a adição excessiva de parâmetros pode não resultar em melhoria da acurácia, ao contrário, criar uma condição de superparametrização.

Além disso, esses autores avaliam que as condições climáticas, como temperatura e pressão, nas quais a calibração das câmeras é feita não são as mesmas encontradas frequentemente nas condições reais de emprego dessas câmeras, o que poderá induzir uma variação dos parâmetros de calibração e dessa forma afetar a qualidade dos valores das coordenadas a serem obtidos.

Ao avaliarem a efetividade de dois classificadores de imagens Cruz et al. (2008) descrevem a superioridade do emprego de imagens digitais

para avaliação das condições físicas da superfície do solo, destacando a maior frequência do emprego de câmeras digitais.

Figueiredo e Carvalho (2007) empregaram imagens digitais como objeto de avaliação de níveis de desmatamento e condições de manejo racional de áreas de floresta no estado do Acre, submetendo-as a diferentes metodologias de classificação de modo a que o dimensionamento do desmatamento seja obtido com critério mais uniforme contornando-se o risco de distintos valores como o método de análise.

Descrevendo características de câmeras digitais Scuri (2002) considera que elas são mais versáteis, de transporte mais facilitado com emprego mais amplo devendo-se ater, porém, à eventual sensibilidade sob ação da luminosidade o que é porém facilmente controlado com a facilidade adicional de permitir a análise instantânea das imagens obtidas.

2.3 Dimensão fractal

Benoit Mandelbrot, contemporâneo matemático polonês, empregou em 1967, pela primeira vez, o termo fractal com o sentido de fraturado, quebrado, irregular ou fragmentado, sendo que fractal deriva do termo latino *fractus*, do verbo *frangere* significando fraturar, quebrar, fragmentar. A publicação em 1982, da obra: *The Fractals Geometry of Nature*, tornou o autor e sua obra conhecidos, sendo por isso considerado o marco da criação da nova geometria fractal (SILVA e MENDONÇA, 2001).

Mandelbrot não criou propriamente uma nova geometria, pois a partir do século IXX matemáticos como Hausdorff, Cantor, Peano, Julia, Koch e Sierpinski já descreviam objetos ou figuras com dimensão fracionária.

No entanto, foi Mandelbrot que a partir da década de 1960, agora contando com a robusta assistência da computação eletrônica, agregou os conhecimentos acumulados sobre o que passou então a denominar de objetos fractais, criando então a geometria dos fractais moderna (DIBAN, 2000).

Assim, o termo fractal passou a nomear tanto formas irregulares como a própria geometria que os retratava, e que, aliada ao emprego dos computadores eletrônicos fez com que essa nova geometria passasse a ser empregada em uma infinidade de aplicações.

Dentre as diversas áreas de aplicação da geometria fractal destacam-se o emprego na: medicina, economia, geologia, matemática, planejamento urbano, estatística, biologia, entre outras ciências e até nas artes, sendo que a geometria fractal está intimamente relacionada ao conceito da teoria do caos, na qual não há previsibilidade na ocorrência de um fenômeno (LVCON, 2007).

Avaliando a aplicação da Dimensão Fractal em imagens de sensoriamento remoto, Martins et al. (2003) descrevem a dimensão fractal (D) como uma medida que aponta o nível de irregularidade morfológica de um objeto fractal de modo que quanto maior essa condição maior valor para a dimensão D será encontrado, citando que um valor entre 2 e 3 será esperado, por exemplo, para uma superfície.

A geometria fractal, segundo Miranda e Gonzalez (1998), diferentemente da geometria clássica ou Euclidiana, trata das formas não regulares, dos objetos naturais como nuvens, montanhas, árvores, raios, micélios de fungos e torrões, cujas formas não encontram um correspondente na geometria clássica, pois essa não fornece suas dimensões de forma satisfatória, o que só ocorre na geometria fractal.

Portanto, as formas naturais, diferentes das formas criadas pelo homem, são repletas de reentrâncias, de superfícies irregulares, por isso a geometria fractal, ao contrário da geometria clássica, admite a obtenção de valores de dimensão fracionária que é um conceito estritamente associado à noção de objeto fractal, permitindo descrever essas formas irregulares.

Ainda segundo os autores, na geometria clássica um ponto, por exemplo, tem dimensão 0, uma curva tem dimensão 1, um retângulo tem dimensão 2 e um volume como uma esfera tem dimensão 3.

Outra consideração importante sobre fractais são os conceitos de auto-similaridade e auto-afinidade, sendo exemplificado na Figura 6 um

clássico objeto fractal autossimilar, ou seja, um objeto que apresenta a mesma forma do objeto original, independente da escala em que é retratado.

Na geometria fractal os objetos têm dimensão não inteira, são fracionárias. Por exemplo, o Triângulo de Sierpinski, mostrado na Figura 7, segundo Wangenheim et al. (2007), tem dimensão fractal aproximada de 1,585, o mapa da costa da Inglaterra tem dimensão fractal de 1,532 e, desse modo, outras formas têm sua dimensão fractal já determinadas.



Figura 6. Brócolis como objeto fractal natural autossimilar perfeito.

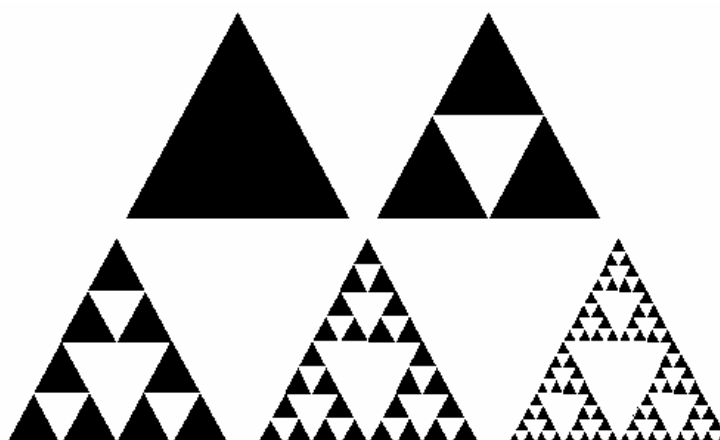


Figura 7. Triângulo de Sierpinski, seqüência da geração iterativa.

Fonte: Wangenheim et al. (2007).

Para o Triângulo de Sierpinski a dimensão fractal pode ser obtida pelo método da dimensão por autossimilaridade, que relaciona o número de partes que formam o objeto com o fator de escala.

Assim, conforme descrito na Equação 4 pode-se obter a dimensão fractal D de um objeto de modo que:

$$N = \left(\frac{1}{r} \right)^D \quad (4)$$

Em que:

D = dimensão fractal do objeto;

r = fator de contração do Sistema de Funções Iterativas (IFS) que o gera e,

N = número total de contrações que constituem o IFS.

Desse modo, desenvolvendo a Equação 4 para a obtenção da dimensão fractal têm-se a Equação 5, Wangenheim et al. (2007).

$$D = \frac{\log N}{\log \left(\frac{1}{r} \right)} \quad (5)$$

E, finalmente para o Triângulo de Sierpinski, a dimensão fractal, obtida na Equação 6 será:

$$\text{Dimensão Fractal} = \frac{\log 3}{\log 2} \approx 1,585 \quad (6)$$

Nos estudos em física dos solos depara-se com um grande obstáculo que é empregar apenas uma propriedade que seja capaz de caracterizar a maior parte das informações importantes referentes a certa

unidade do solo que é alvo de estudos, Carvalho et al. (2004). Os autores ainda consideram que as pesquisas frequentemente empregam a distribuição de poros e agregados do solo e que com o advento da geometria fractal têm-se conseguido a modelagem a partir da dimensão fractal “D” em relação a parâmetros como umidade volumétrica e potencial matricial de água no solo.

Pode-se estimar a condutividade hidráulica do solo, estando ou não o solo saturado, a partir de curvas de retenção, empregando-se para isso modelos matemáticos que incluem a dimensão fractal “D”. A dimensão fractal por sua vez pode ser obtida a partir da distribuição do tamanho das partículas do solo (ANDRADE, 2002; BACCHI et al., 1996).

Para Hott et al. (2005), a dimensão fractal já se constitui em uma robusta ferramenta para a determinação da rugosidade da superfície terrestre por sua efetividade na distinção de texturas das áreas analisadas, permitindo ainda que se classifiquem imagens, identificação de paisagens, fazendo a detecção de bandas espectrais que possam se apresentar como ruídos. Já em sensoriamento remoto, permite análises diversas como as de natureza ecológica, antrópica, administrativas e outras.

Avaliando a aplicação da dimensão fractal em imagens de sensoriamento remoto, Martins et al. (2003) descrevem a dimensão fractal (D) como uma medida que aponta o nível de irregularidade morfológica de um objeto fractal de modo que quanto maior essa condição maior valor para a dimensão D será encontrado, citando que um valor entre 2 e 3 será esperado, por exemplo, para uma superfície.

Backes et al. (2007) ao avaliarem a correlação entre as morfologias das estruturas urbanas e as texturas das imagens espaciais de alta resolução, descrevem a aplicação da dimensão fractal das imagens geradas em diferentes pontos da cidade de São Carlos, SP. A partir da binarização dessas imagens, tomadas como dados de entrada, aplicaram algoritmos tipo Minkowski e Box-counting volumétrico ou 3D em imagens em níveis de cinza.

Os autores concluíram constatando alta correlação entre os padrões morfológicos urbanos e as dimensões fractais das imagens dessas áreas analisadas, o que contribui para tomada de decisão ao nível de políticas públicas diferenciadas.

Ao aplicarem os princípios da geometria fractal a uma bacia hidrográfica, Vestena e Kobiyama (2010) descrevem a dimensão fractal como sendo a medida da complexidade de um objeto, em uma relação direta. Apontam ainda que ao determinar a dimensão fractal para uma rede de drenagem concorrerão para auxiliar na tomada de decisões sobre a melhor abordagem de manejo para essa bacia.

Descrevendo propriedades físico-hídricas dos solos com base nos efeitos que diferentes doses e fontes de matéria orgânica exercem, Paixão (2005) empregou modelos para obtenção da dimensão fractal cujas entradas eram fornecidas pela propriedade de distribuição do tamanho das partículas do solo e também na curva de retenção de água.

Ao analisar o crescimento de micélios de fungos com propósito de determinação do potencial de produção de antibióticos, Mucheroni e Matias (1996), empregaram a dimensão fractal D , de Hausdorff-Besicovitch, através do método Box-counting. O objetivo era o de analisar a etapa na qual a colônia toma forma aproximadamente esférica a partir de imagens digitais microscópicas desses micélios, submetidas a um processamento, obtendo-se o valor da dimensão D igual a 1,8544288, cujo sequencial de obtenção é observado na Figura 8.

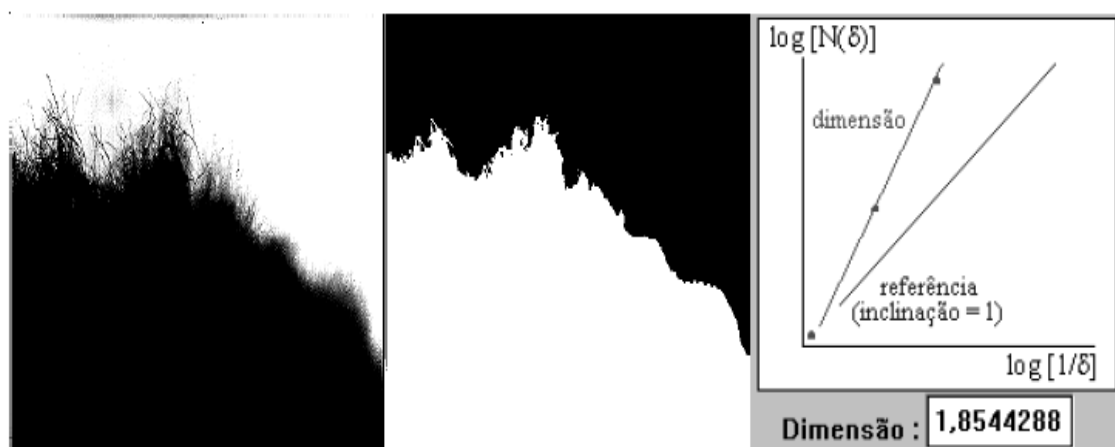


Figura 8. Imagem microscópica de colônias de fungos, após processamento e dimensão fractal D. Fonte: Mucheroni e Matias (1996).

Como solução à limitação das antenas comuns em alcançarem uma sensibilidade a uma maior faixa de comprimentos de onda, fabricantes de aparelhos de telefonia móvel empregaram um desenho fractal a uma antena que permitiu um aumento em seu perímetro sem aumentar o espaço linear que ocupa no equipamento, conforme mostrado na Figura 9.

Desse modo, foi possível abranger um maior espectro, considerando que a eficiência dessas antenas é limitada a cerca de um quarto do comprimento de onda (NUNES e GAMA, 2009).

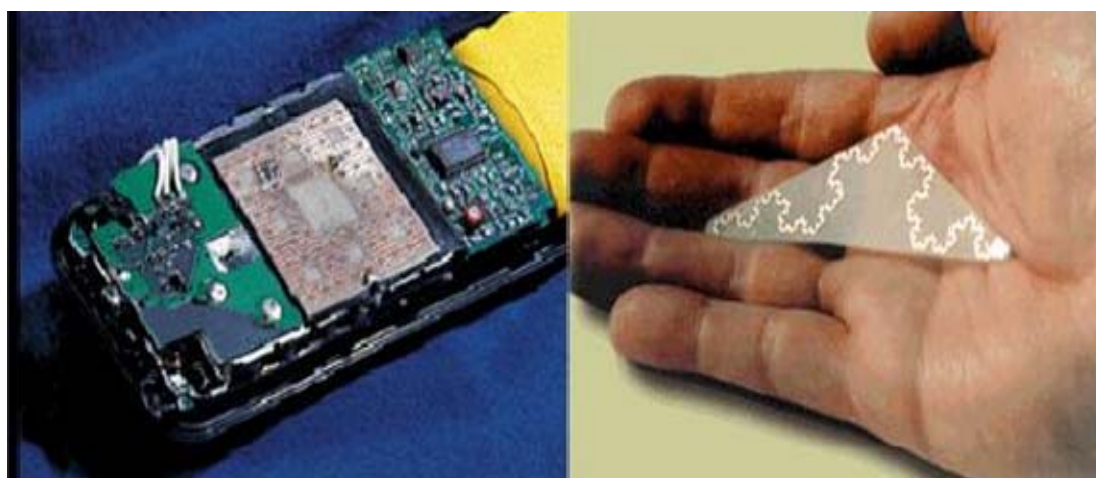


Figura 9. Antena fractal empregada em aparelhos de telefonia móvel. Fonte: Nunes e Gama (2009).

Faria Júnior (2007) descreve a implementação de um software para que sob dados de entrada como mapas cartográficos em duas dimensões seja possível a visualização em três dimensões a partir da obtenção da dimensão fractal de relevos e edificações.

A microscopia de força atômica (AFM) e voltametria cíclica (VC) são duas formas de se obter dados de entrada para análise de superfícies rugosas de filmes finos permitindo que se determine sua dimensão fractal (SOUZA CRUZ, 2000).

2.3.1 Dimensão de homotetia

Nunes e Gama (2008) consideram a chamada dimensão de homotetia como correspondente de cálculo para os chamados fractais geométricos ou auto-similares, porém para formas naturais como nuvens, torrões de solo, micélio de fungos e outros que são auto-afins, devem-se empregar os conceitos embutidos na dimensão de Hausdorff-Besicovitch.

Para a obtenção da dimensão de homotetia esses autores fazem as seguintes considerações:

Analisando a Figura 10, com dois quadrados, ao ser ampliado, inicialmente em uma escala de 2 vezes, iremos obter quatro quadrados de tamanho idêntico, e se for repetido o procedimento, mas adotando a escala de 3x iremos obter 9 quadrados e assim sucessivamente até a escala Kx na qual teremos $N = k^2$ quadrados de igual tamanho, assim teria-se: $\log_k N = 2$.

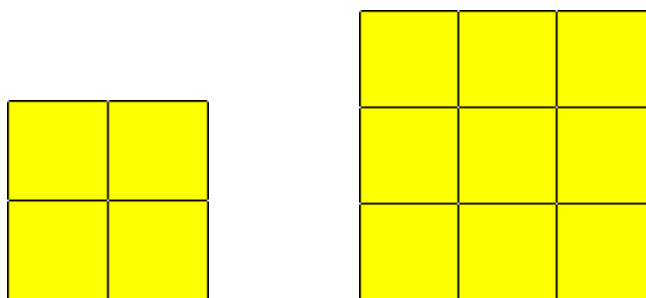


Figura 10. Quadrados ampliados para visualização das escalas.
Fonte: Nunes e Gama (2008).

Desse modo para quaisquer formas consideradas poderá ser feita a generalização tal que para uma reta teríamos que $\log_k N = 1$, para um triângulo $\log_k N = 2$ e para um cubo: $\log_k N = 3$, conforme mostrado na Figura 11.

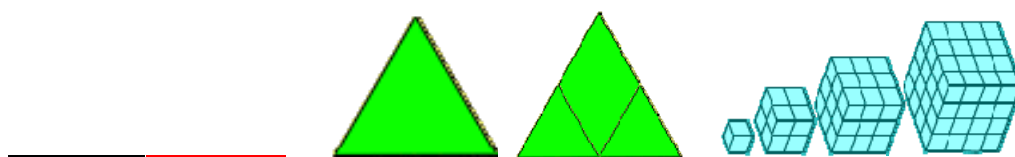


Figura 11. Escalas de ampliação de figuras geométricas Euclidianas.
Fonte: Nunes e Gama (2008).

Assim, se ao ampliarmos à escala k um conjunto C e obtivermos um conjunto formado por N cópias do conjunto original, dizemos que foi obtida a dimensão de homotetia, que em suma é dada pela Equação 7.

$$Ds(C) = \log_k N \quad (7)$$

Onde $Ds(C)$ é a dimensão fractal de homotetia, aplicável, como visto para fractais geométricos.

Para a curva de Koch, mostrada na Figura 12 têm-se, ao ampliá-la pelo fator de escala de 3, a obtenção de 4 cópias idênticas à da curva original, de modo que a sua dimensão de homotetia será dada por:

$$Ds(C) = \log_k N = \log_3 4 \approx 1,261$$

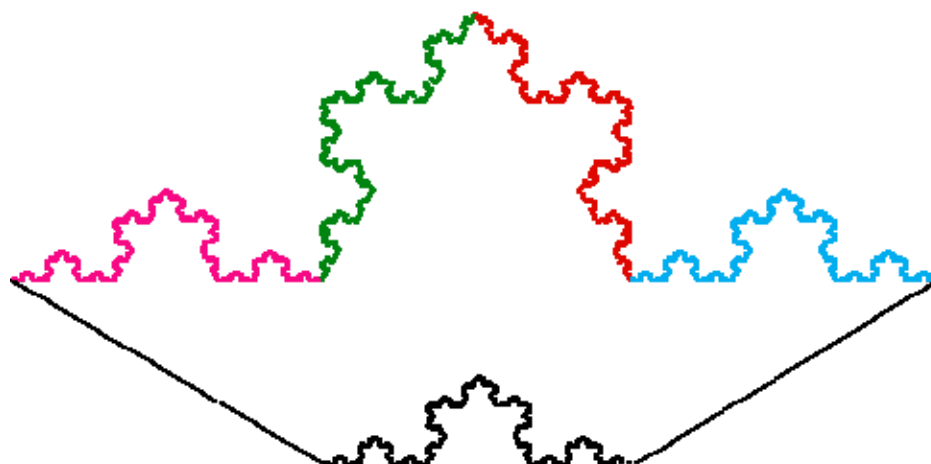


Figura 12. Curva de Koch com a ampliação do objeto original resultando em quatro objetos auto-similares. Fonte: Nunes e Gama (2008).

O “conjunto” ou “pente” de Cantor é mostrado na Figura 13, nele têm-se, ao se fazer a ampliação pelo fator de escala de 3, a obtenção de 2 cópias do conjunto original, desse modo sua dimensão de homotetia será dada por:

$$Ds(C) = \log_k N = \log_3 2 \approx 0,630$$

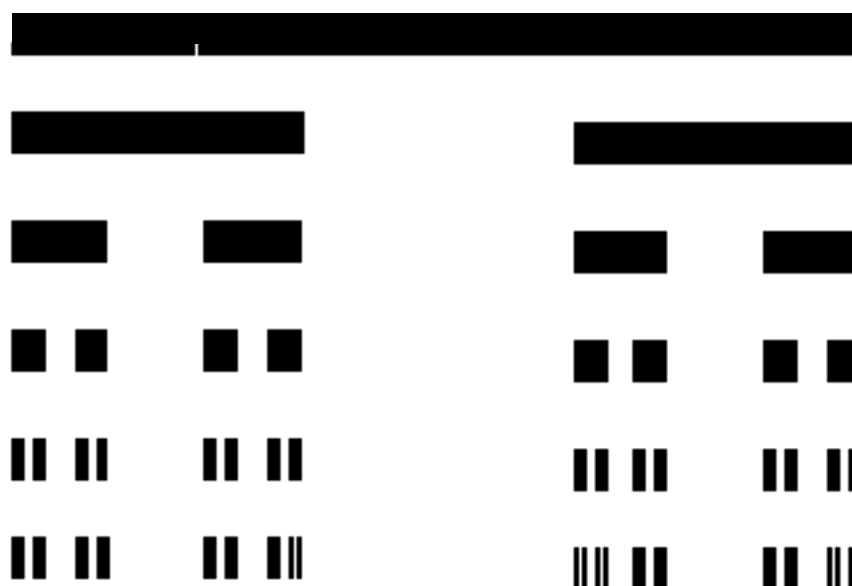


Figura 13. Conjunto, poeira ou pente de Cantor.
Fonte: Nunes e Gama (2008).

Finalmente, para o triângulo de Sierpinski pode-se aplicar o mesmo raciocínio, de modo a se obter:

$$Ds(C) = \log_k N = \log_2 3 \approx 1,585$$

2.3.2 Método de Hausdorff-Besicovitch

Nos casos de objetos fractais que não são auto-similares mas sim auto-afins ou estatisticamente auto-similares, como nuvens, torrões de solo e outras formas naturais, deve-se empregar a sequência de cálculos da dimensão de Hausdorff-Besicovitch, o que não impede que, também aqui, os auto-similares possam também ter suas dimensões determinadas.

Segundo Nunes e Gama (2008) o método para a determinação da dimensão fractal de objetos autoafins ou dimensão de Hausdorff-Besicovitch é referido de forma recorrente na literatura como “box-counting” por

empregar o princípio do preenchimento do objeto, cuja dimensão se quer determinar.

É feito com caixas sucessivamente menores e a partir daí procede-se à contagem dessas caixas, necessárias para cobrir o objeto, obtendo portanto a dimensão fractal de Hausdorff-Besicovitch.

Serão apresentados a seguir, exemplos desse método tanto para objetos auto-similares geométricos como para os auto-similares estatísticos ou auto-afins.

Considerando uma reta e recobrimo-a com caixas de tamanho cada vez menor, teremos que o número de caixas necessárias para cobrir a reta e o seu respectivo tamanho serão definidos por $N(r) = (1/r)^d$, com $d = 1$, mostrado na Figura 14.

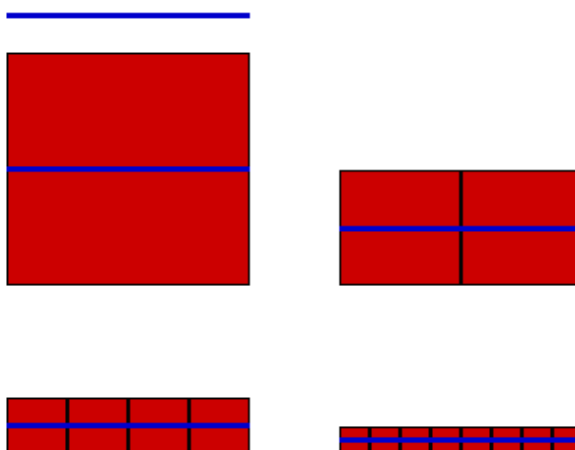


Figura 14. Aplicação do método box-counting em uma reta.
Fonte: Nunes e Gama (2008).

Assim para as Figuras (11) e (12) foi demonstrado que a dimensão Hausdorff-Besicovitch é o próprio expoente da lei de potência assintótica, obtida aplicando os conceitos de limites, Equação 8:

$$d = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log N(r)}{\log r} \quad (8)$$

Pode-se agora aplicar os cálculos para a obtenção da dimensão de Hausdorff-Besicovitch, de modo a confrontar com os resultados obtidos pela dimensão de homotetia. Será assim procedido para a curva de Koch (Figura 15), o pente de Cantor (Figura 16), e para o triângulo de Sierpinski (Figura 17).

Para a curva de Koch têm-se:

$$N(1/3) = 3$$

$$N(1/9) = N((1/3)^2) = 12$$

$$N(1/27) = N((1/3)^3) = 48$$

e em geral:

$$N((1/3)^n) = 3 \times 4^{n-1}$$

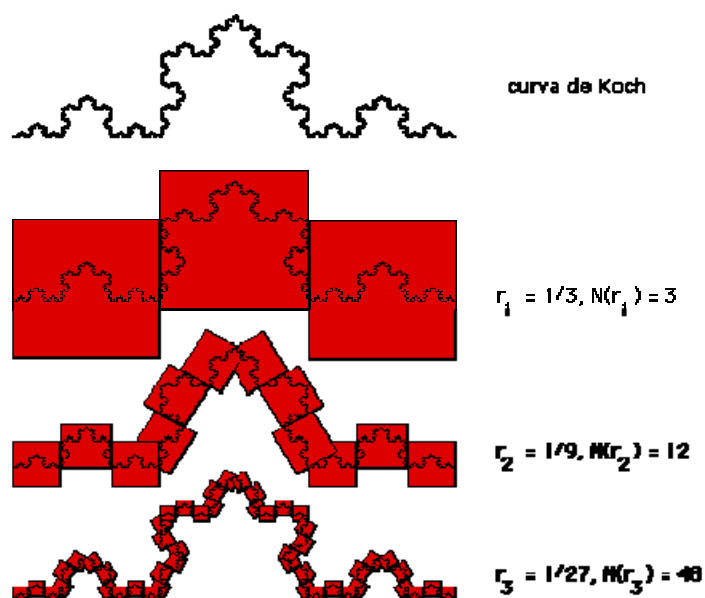


Figura 15. Curva de Koch submetida de forma esquemática ao método box-counting. Fonte: Nunes e Gama (2008).

$$d = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log(3 \times 4^{n-1})}{\log 3^n} = \log_3 4 \quad (9)$$

Para o conjunto de Cantor têm-se

$$N(1/3) = 2$$

$$N(1/9) = N((1/3)^2) = 4 = 2^2$$

$$N(1/27) = N((1/3)^3) = 8 = 2^3$$

e em geral

$$N((1/3)^n) = 2^n$$



Figura 16. Método box-counting para o conjunto de Cantor.
Fonte: Nunes e Gama (2008).

$$\frac{\log 2^n}{\log 3^n} = \log_3 2 \quad (10)$$

Finalmente para o triângulo de Sierpinski mostrado na Figura 17, têm-se a aplicação do método box-counting.

Assim:

$$\frac{\log 3^n}{\log 2^n} = \log_2 3 \quad (11)$$

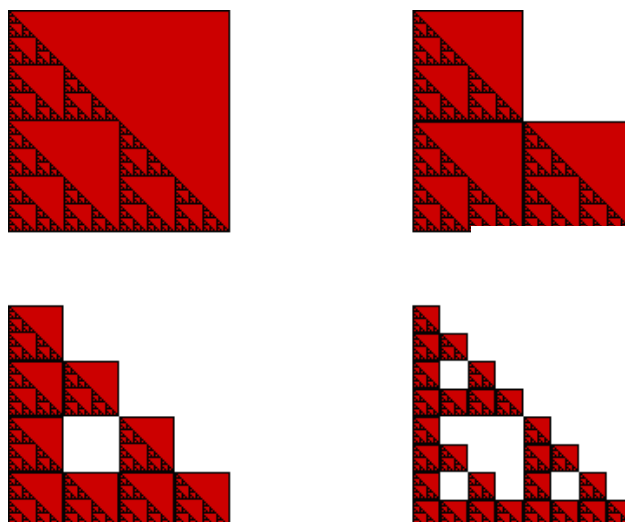


Figura 17. Triângulo de Sierpinski submetido ao método box-counting.
Fonte: Nunes e Gama (2008).

Assim, percebe-se que dos exemplos apresentados, os conceitos são igualmente aplicáveis para os fractais geométricos ou auto-semelhantes, porém, para os fractais auto-afins ou naturais, aplica-se o método box-counting ou da contagem das caixas, usualmente, para a determinação da dimensão fractal.

2.4 Fotogrametria

A fotogrametria visa reconstruir uma estrutura com três dimensões, ou como classificam Coelho e Brito (2007), o “espaço-imagem”, com base em imagens de duas dimensões do chamado “espaço-objeto”. Assim,

consideram tratar-se de uma mudança sistemática, indo do sistema de duas dimensões ou sistema de fotografia para o que se configura no próprio espaço-imagem, ou sistema de três dimensões.

Esses autores destacam ainda que as imagens são em geral obtidas de locais onde adota-se coordenadas que podem ser: geodésicas, planialtimétricas ou cartesianas e no caso da chamada fotogrametria terrestre ou de objetos pequenos, cria-se, arbitrariamente, um sistema referencial próprio.

A estereoscopia é o conjunto de técnicas e métodos que permite a perspectiva na visão de objetos ou visão em profundidade, sendo que com base nela a fotogrametria centra sua ação, de modo a tornar possível a extração de informações relevantes sobre objetos a partir de suas imagens, tais como: ângulos, elevações, áreas, distâncias além de volume e estruturação externa desses objetos (TEMBA, 2000).

Imagens de um mesmo objeto obtidas sob ângulos distintos permitem que sob emprego de equipamentos e recursos específicos, possam ser observadas com a sensibilidade para identificação de três dimensões, à semelhança do objeto real, ação descrita como estereoscopia. A estereoscopia pode ser empregada em diversas áreas como fotogrametria, cirurgia médica, técnicas farmacêuticas para criação e manipulação de compostos moleculares e vídeo-laparoscopia (LIPTON, 1997).

Segundo Coelho e Brito (2007) pontos de controle ou pontos de campo são necessários para que a transformação da projeção bidimensional para a tridimensional seja efetivada, sendo obtidos no espaço-objeto em número tanto maior quanto possível, pois torna mais precisa essa transformação.

Apesar disso, recomendam a obtenção de um número mínimo suficiente, pois, sua obtenção tende a ser dispendiosa aliado ao fato de que com processos como a fototriangulação são requeridos um número reduzido de pontos de controle. A partir desses são gerados outros tantos que

permitem assim a obtenção da transformação desejada, satisfazendo a precisão exigida.

Disperati (1991) descreve que concomitante à progressiva e contínua aplicação da fotogrametria tem ocorrido sua evolução tanto ao nível de técnicas como na inserção de inúmeros novos instrumentos. Considera ainda que para aplicações específicas e de menor complexidade podem ser empregados equipamentos para que se obtenha um mapeamento de menores porções de áreas, aplicação que denomina como FAPEF ou Fotografias Aéreas de Pequeno Formato.

Com as FAPEFs registra-se uma grande redução nos custos, principal entrave ao maior emprego da Aerofotogrametria tradicional, isto conseguido a partir do emprego de balões, ultraleves, aviões e outras bases aéreas em vôos de baixa altura além do emprego de câmera não-métrica.

As operações fundamentais em fotogrametria são a Orientação Interna no qual se estima a distância focal e a distorção geométrica devido a inerentes imperfeições nas lentes, sendo frequentemente referida como calibração da câmera.

Já a orientação externa permite relacionar coordenadas do objeto com as coordenadas da imagem. Finalmente, a orientação relativa que irá fornecer subsídios para a obtenção do modelo espacial do objeto a partir do relacionamento geométrico espacial entre o par estereoscópico (MATEUS, 2008).

Beneficiária dos avanços científicos e tecnológicos a Fotogrametria evoluiu paralelamente à inserção de conhecimentos e equipamentos às suas atividades, de modo a se observar distintos períodos, classificados por Meneses (2007) como:

- Fotogrametria Analógica centrada em algumas técnicas e equipamentos como restituidores e fotografias analógicas de emprego mais restrito mas ainda com alguma aplicação;
- Fotogrametria Analítica descrita como uma forma aprimorada da Fotogrametria analógica, pois, não obstante empregar ainda fotografias analógicas o faz sob auxílio de um computador, e a atual,

- Fotogrametria Digital na qual as atividades são executadas com todos os materiais, equipamentos e fotografias em formato digital.

Karara et al. (1989) descrevem as aplicações de uma das ramificações da Fotogrametria, a Fotogrametria não-topográfica, ou Fotogrametria Terrestre citando a arquitetura, a biometria e a engenharia industrial. Consideram ainda que a característica básica da fotogrametria enquanto técnica de metrologia é que as medições são sempre indiretas e atualmente feitas com emprego de plataformas de desenho auxiliados por computadores.

Classificando-a como importante ramo da Fotogrametria, Wolf (1983) destaca que Fotogrametria Terrestre pode empregar um tripé ou outra base para fixação da câmera e, por obter as imagens a uma distância inferior a 300 m, é frequentemente denominada Fotogrametria a curta distância. Aponta ainda diversos empregos na agricultura, arquitetura, engenharias, geologia, medicina, oceanografia, odontologia, arqueologia, indústria e outras.

Mesmo não sendo originalmente desenvolvidas para atividades de mapeamento, câmeras de pequena e média configuração são empregadas de forma recorrente como forma de contornar custos em relação às de sistemas comerciais específicas, Ruy et al. (2009). Os autores ainda descrevem o emprego do software LPS na determinação de parâmetros de calibração de câmeras digitais, sustentando que modelos já desenvolvidos para correção de erros sistemáticos em sistemas analógicos e que não são os adequados ao mesmo emprego em sistemas digitais.

Para Marcato Junior et al. (2009) o emprego de câmeras métricas pode não ser possível em função de custo, permitindo que em aplicações específicas, câmeras não-métricas possam ser empregadas não afetando de forma significativa os resultados mesmo com as limitações como na orientação interior.

Essas câmeras não-métricas podem ainda, sob condições de correta calibração fornecerem resultados mais próximos das câmeras métricas, o que, aliado aos custos inferiores, facilidade de operação, obtenção mais

facilitada no mercado além de apresentarem peso e dimensões mais reduzidas.

Calazans e Castiglione (2009) descrevem a aplicação dos princípios da fotogrametria digital em áreas de atividades de mineralogia conjugadas com varredura a laser tridimensional, uma vez que, ao serem empregadas de forma complementar constituem-se em fonte de informação mais confiáveis para projetos geológicos e de engenharia.

Para que se possa observar e extrair as informações necessárias em ambiente tridimensional pode-se empregar, segundo Coelho e Brito (2007), uma das quatro principais formas:

- Anaglifo, empregada nesse trabalho e que consiste na sobreposição de duas imagens, sendo, porém cada imagem em uma cor, necessitando que se empreguem óculos com um filtro para cada cor empregada;
- Separação espacial na qual o par estereoscópico é colocado lado a lado empregando-se um dispositivo chamado estereoscópio de espelhos para formar a percepção tridimensional do objeto;
- Separação radiométrica que é mais próxima do sistema anaglifo que porém emprega polarização distinta da luz e,
- Separação temporal na qual as imagens são exibidas de forma cíclica a altas frequências.

A fotogrametria pode ser empregada como recurso auxiliar na avaliação postural com fins fisioterápicos pela facilidade de determinação de parâmetros na morfologia postural e por permitir a manipulação das informações de forma mais ágil que métodos tradicionalmente empregados, como a goniometria manual (SACCO et al., 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido em uma área pertencente à Universidade Federal de Viçosa, anexa ao aeródromo de Viçosa/MG. A área situa-se nas seguintes coordenadas geográficas: 20°45' de latitude Sul e 42°51' longitude Oeste. A região apresenta o clima tropical de altitude com verão chuvoso e temperaturas amenas, ou Cwb, conforme classificação de Köppen (1948). Predomina nessa área solo do tipo argissolo vermelho-amarelo distrófico.

Análises de solo foram realizadas de modo a se obter as classes, características físicas e mineralógicas do solo da área onde esse trabalho foi conduzido. A área apresentava cobertura vegetal seca, pois foi previamente roçada, porém, esparsa e com distribuição desuniforme ao longo das parcelas experimentais.

Foram empregados um trator Valtra, modelo BM 110 4X2 TDA e implementos montados como um arado de três discos lisos com diâmetro de 28", reversível, uma grade niveladora, de 28 discos com diâmetro de 20", de dupla ação, com corpo dianteiro dotado de discos recortados e corpo traseiro com discos lisos, um escarificador dotado de 8 hastes e uma enxada rotativa.

Uma câmera digital marca Fuji, modelo Finepix Z20 fd, dotada de um sensor CCD de 1/2,3 polegadas, resolução máxima de 10 megapixel, 3072 x 2304 pixel.

Para a determinação do índice de rugosidade empregou-se um perfilômetro de 20 hastes metálicas cujas leituras das hastes foi feita a partir do papel milimetrado fixado no anteparo ao fundo das hastes permitindo leituras das cotas Z a cada milímetro.

Também foi utilizado um computador pessoal equipado com softwares como MatLab 7.0 e Erdas 9.2, este com seu aplicativo Leica Photogrametry System ou LPS, que efetivamente permitiu a obtenção das cotas dos pontos avaliados.

Todos os materiais e softwares descritos e empregados nesse trabalho estão disponíveis no DEA/UFV.

3.1 Delineamento experimental

O experimento foi constituído por um delineamento em blocos casualizados com cinco repetições e cinco níveis de rugosidade da superfície do solo, obtidos sob diferentes formas de preparo a partir do emprego de quatro implementos isolados ou de forma somativa seqüencial.

Os cinco blocos foram constituídos de cinco parcelas cada um, sendo que cada uma dessas vinte e cinco parcelas experimentais apresentava as dimensões de 12 m x 4 m, totalizando, portanto, uma área de 48 m² cada uma.

Essas vinte e cinco parcelas foram instaladas com auxílio de uma trena e estacas inseridas em cada vértice do retângulo formado por cada parcela e outras intermediárias para melhor visualização por ocasião das operações de preparo do solo.

Entre cada uma dessas parcelas reservou-se um espaço de 2 m para transição ou bordadura e a cada conjunto de 5 parcelas ou bloco um espaçamento de 5 m que além da separação também facilitava manobras na operação de preparo do solo.

Como as operações de preparo do solo foram concluídas ao final do dia, a coleta de dados iniciou-se na manhã do dia seguinte, iniciando-se sempre pela obtenção das imagens e imediato posicionamento do perfilômetro.

Dentro de cada parcela a unidade experimental foi delimitada fisicamente por um quadro metálico de 1 m x 1 m, estrutura sobre a qual

tanto a câmera quanto o perfilômetro se apoiaram, empregando-se um quadro para cada um dos dois métodos de análise.

Desse modo permitiu-se que as imagens fossem obtidas no mesmo ponto na unidade experimental onde seguidamente o perfilômetro era posicionado. Sobre essa estrutura o perfilômetro se deslocava a cada 0,25 m para obtenção de três estações de leitura no sentido transversal à linha de preparo do solo além de mais três estações de leitura no sentido longitudinal a essa linha de preparo do solo.

Ao serem obtidas as imagens, delimitava-se a posição do quadro de obtenção de imagens com estacas para posterior posicionamento do outro quadro de posicionamento do perfilômetro.

Esse arranjo atende aos preceitos fundamentais da experimentação ao contemplar a casualização que permite a distribuição aleatória dos tratamentos nos blocos, repetição com a qual se estima os erros experimentais e o controle local, pois não obstante buscar-se a casualização é necessário que haja um conhecimento das condições reinantes no local empregado para a experimentação (MONTGOMERY, 2005).

A hipótese H_0 constitui-se na proposição de que a avaliação da rugosidade com o uso do perfilômetro mostra sua superioridade em relação à observada com emprego da dimensão fractal das imagens analisadas.

3.2 Determinação da umidade do solo

Para a determinação das características físicas do solo da área sob avaliação, procedeu-se à coleta de amostras em cada parcela empregando um trado tipo holandês, na camada de 0 a 0,1 m. Coletou-se três amostras simples em cada parcela, dentro da área útil delimitada pela estrutura metálica, que, posteriormente foram compostas em uma única amostra.

As amostras compostas, após secagem ao ar, foram peneiradas em malha de 0,002 m, constituindo a TFSA, a partir das quais foram feitas as determinações de umidade pelo método da estufa, conforme proposto por

Embrapa (1997). Para isso, empregou-se uma estufa, 25 cápsulas e uma balança de precisão disponíveis no DEA/UFV.

Determinou-se a umidade do solo por se constituir em informação relevante acerca da estruturação superficial do solo após o emprego dos implementos de preparo do solo.

3.3 Determinação do Diâmetro Médio Ponderado (DMP)

Coletou-se amostras do solo na camada de 0 a 0,20 m de profundidade para a determinação do Diâmetro Médio Ponderado (DMP), de modo a abranger a camada efetivamente movimentada pelo implemento de maior penetração, que, neste trabalho, foi o arado montado de três discos. O DMP constitui-se em informação relevante acerca da estruturação dos agregados do solo, por ocasião do preparo e coleta de dados.

Na determinação da distribuição das classes de agregados empregou-se a peneiração via úmida, utilizando-se o Agitador preconizado por Yoder (1936), e tal qual outros equipamentos empregados nessa determinação, disponível no Laboratório de Análises Físicas do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

Para essa determinação foram feitas coletas de amostras simples em cada um dos cinco tratamentos que, posteriormente, foram fundidas em uma única amostra por tratamento, similar a procedimento descrito por Wendling (2005). Empregou-se uma pá de corte de modo a preservar ao máximo os torrões, sendo estes embalados em sacos de plástico e daí foram manualmente fragmentadas sobre duas peneiras de 0,004 m e de 0,002 m.

Após passarem pelas peneiras, permaneceram por 72 h para serem secas ao ar, à sombra, sendo os agregados que ficaram retidos na menor peneira utilizados nas análises. A partir daí foram coletadas cinco amostras para determinação da umidade e mais cinco amostras, de 0,025 kg cada uma, que representavam cada um dos cinco tratamentos, que foram

encaminhadas para análise, via úmida, no Agitador de Yoder (EMBRAPA, 1997).

As cinco amostras, de 0,025 kg cada uma, foram retiradas das cápsulas empregando um frasco com água, pressionado manualmente de forma lenta, durante 15 minutos para em seguida serem dispostas sobre a vidraria “vidro de relógio”, para posterior repouso de 2 horas. Daí seguiam para o Agitador de Yoder, sendo que o modelo empregado permitiu a análise de duas amostras simultaneamente.

A bateria de peneiras empregadas obedeceu a sequência de: 2mm; 1mm; 0,5mm; 0,25mm e 0,125mm. O Agitador de Yoder foi então programado para operar com 26 vibrações verticais por minuto durante 15 minutos, com uma amplitude de 0,05m.

Após essa etapa as amostras foram retiradas do Agitador de Yoder e o conteúdo de cada peneira transferido para cápsulas previamente taradas para serem submetidas à secagem em estufa gravimétrica a 105° C por 48 horas.

Após essa secagem foram então retiradas indo para um ressecador até atingirem a temperatura ambiente e em seguida pesadas na balança de precisão.

Para a determinação do Diâmetro Médio Ponderado (DMP) empregou-se o modelo descrito por Wendling (2005), conforme observado na Equação 12 abaixo.

$$DMP = \sum_{i=1}^n W_i d \quad (12)$$

Em que:

DMP = Diâmetro Médio Ponderado dos agregados do solo, mm;

W_i = Proporção de cada classe e,

d = Valor médio entre a classe superior e a classe inferior à classe i, mm.

3.4 Obtenção das superfícies com rugosidade distintas

Para a obtenção dos cinco níveis de rugosidade, considerando a ocorrência de variações na rugosidade superficial do solo conforme o sistema de preparo empregado e os implementos utilizados (BOLLER et al., 1997), foram estabelecidas as seguintes formas de preparo ou tratamentos:

1) Aração, denominado Tratamento T1, feito com o emprego de um arado montado, reversível, com três discos lisos, marca IMAF cujo resultado da operação na parcela experimental é mostrada na Figura 18.



Figura 18. Preparo do solo com emprego do arado de discos.

2) Convencional ou Tratamento T2, no qual empregou-se o arado de discos mais duas passadas de uma grade montada de 28 discos, tandem com discos recortados na seção dianteira e lisos na seção traseira. A Figura 19 ilustra o efeito desse tratamento no solo.



Figura 19. Preparo do solo com emprego do arado de discos mais duas passadas da grade de discos.

3) Enxada rotativa, ou Tratamento T3 foi empregado sequencialmente, uma passada do arado e mais duas passadas da grade de discos, (Figura 20).



Figura 20. Preparo do solo com emprego do arado de discos mais duas passadas da grade de discos e uma passada da enxada rotativa.

4) Escarificação, constituiu o Tratamento T4, com emprego apenas de um escarificador montado de 8 hastes que tende a manter a cobertura superficial do solo, conforme descrito na Figura 21.



Figura 21. Preparo do solo com emprego do escarificador vendo-se a peculiar preservação da cobertura superficial.

5) Enxada rotativa. Aqui foi empregada exclusivamente a enxada rotativa, em uma única passada (Figura 22), denominado Tratamento T5.



Figura 22. Preparo do solo com emprego da enxada rotativa.

A Figura 23 mostra a área experimental vendo-se algumas parcelas e a visualmente identificável distinção na rugosidade superficial conforme os diferentes tratamentos empregados.



Figura 23. Vista geral da área com a distribuição das unidades experimentais.

Empregou-se em todas as formas de preparo o seguinte escalonamento de marchas: 2BL, segunda marcha, com alavanca de redução para menor velocidade (B) e em regime de marcha reduzida (L).

O estabelecimento dessas cinco condições da superfície do solo objetivou a obtenção de níveis de rugosidade discrepantes, de modo a criar as condições para a eventual obtenção de valores de dimensão fractal e Índices de Rugosidade distintos para cada uma delas.

3.5 Emprego da fotogrametria

A fotogrametria constituiu-se na ferramenta para a obtenção de informações acerca do microrrelevo do solo, a partir das imagens do solo preparado nos cinco tratamentos, permitindo a medição de elevações dos torrões a partir de uma dada referência no próprio solo adjacente. Para isso, lançou-se mão da chamada estereoscopia ou reprodução tridimensional dos objetos, no caso, imagens de torrões do solo.

Para tanto, é necessário que se obtenha pelo menos um par de imagens ou par estereoscópico da mesma cena com pequeno deslocamento da câmera empregada, entre as duas tomadas. A esse deslocamento dá-se a denominação de aerobase, que, nesse trabalho, manteve-se a 0,05 m.

Desse modo, foi possível observar o fenômeno de paralaxe e, a partir desse, submeter as imagens ao processamento, obtendo-se as medidas das elevações dos torrões.

Para esse trabalho, as imagens foram obtidas a uma altura de 1,00 m do quadro metálico no qual a estrutura de fixação da câmera estava apoiada.

Outro conceito fundamental da fotogrametria e base para a extração das informações é o da sobreposição. Este consiste em reproduzir, em cada uma das imagens do par estereoscópico, pelo menos 60% da imagem homóloga no sentido longitudinal e pelo menos 30% no sentido transversal.

A aerobase determinada em 0,05 m permitiu contemplar essa exigência da técnica estereoscópica.

Para a extração de informações estereoscópicas das imagens empregou-se a forma de anaglifo, no qual é feita a sobreposição do par homólogo com cada imagem de uma cor distinta, exigindo o emprego dos óculos com os filtros dessas cores.

3.5.1 Estrutura para obtenção das imagens digitais e do par estereoscópico

Uma estrutura de suporte da câmera digital foi empregada nesse trabalho para obtenção das imagens digitais das superfícies mobilizadas nas vinte e cinco parcelas experimentais.

Essa estrutura de suporte foi fixada sobre o quadro metálico de 1 m X 1 m, que delimitava a área útil dentro de cada parcela, na qual, tanto as imagens digitais quanto os valores das leituras do perfilômetro foram obtidas.

Para a obtenção do par estereoscópico de cada parcela empregou-se uma câmera digital marca Fuji modelo FinePix Z20fd, montada sobre um berço metálico acolchoado para evitar mínimos deslocamentos da câmera durante a obtenção das imagens.

Essa estrutura que alojou a câmera foi fixada em uma haste metálica horizontal e esta a duas outras estruturas fixadas no quadro metálico de 1 m X 1 m de modo a ser mantido constantes o nivelamento e a altura de tomada das imagens, determinando-se o enquadramento da unidade experimental e a conveniente sobreposição das imagens.

Para a obtenção das imagens um dispositivo receptor, de acionamento remoto, foi instalado junto à câmera e o dispositivo transmissor foi utilizado por um operador tão logo a estrutura estava devidamente posicionada sobre a unidade experimental.

A Figura 24 abaixo descreve essa estrutura de fixação da câmera para obtenção das imagens, onde pode-se também perceber como a câmera e o dispositivo de acionamento remoto foram fixados.



Figura 24. Estrutura de fixação para obtenção do par estereoscópico com detalhe da instalação da câmera e dispositivo receptor e nível multiplano.

Tomou-se medidas a 1,0 m de altura de modo a uma melhor análise das imagens, considerando que essa maior proximidade com o objeto facilita o correto processamento das imagens em todas as condições de mobilização, pois, em algumas delas, os torrões se apresentam em menores dimensões que outras.

O par estereoscópico foi obtido com o deslocamento de 0,05 m da câmera, de modo a que cada imagem formadora do par, chamadas imagens homólogas, registrasse a mesma cena, porém com o deslocamento que permitisse a obtenção de uma sobreposição longitudinal mínima de 60% entre essas imagens. Assim, permite a ocorrência do fenômeno de paralaxe e daí, possibilitando a reconstrução do chamado espaço-imagem tridimensional, tal como o espaço-objeto original.

Para isso, a câmera foi mantida na configuração que possibilitasse maior resolução, 3072 X 2304 pixel, imagens gravadas no formato JPEG, ISO 100, White balance em Automático, ajuste de cor padrão, EV ou compensação da exposição em zero e desligada a função de estabilização da imagem.

A câmera utilizada é equipada com o sensor CCD ou Charge Coupled Device, que se constitui em um dispositivo que converte um sinal luminoso em energia elétrica, uma vez que o óxido de silício presente no seu circuito integrado dispõe de microdiodos ou fotossítios que são sensíveis à luz de modo a transformarem fótons em elétrons, ou luz em impulso elétrico.

O modelo de câmera empregado foi adaptado para que o disparo das fotos fosse feito de forma remota, a partir de um sinal de radiofrequência, emitido por um circuito emissor para um circuito receptor no qual a câmera estava conectada. Para tanto, o botão de acionamento manual foi modificado recebendo internamente cabos que eram assim unidos a essa unidade receptora.

Já o circuito emissor constou de uma placa com dispositivos integrados e um display de cristal líquido como interface com o operador e mais quatro botões que permitiram ao operador ligar e acionar o circuito. Também facultou ao operador optar em obter as imagens de forma

automática a intervalos preestabelecidos ou, como foi aqui empregado, acionar a câmera manualmente via circuito emissor e receptor. Ambos foram alimentados com distintas baterias de 9V.

Para o circuito receptor possuía um terminal para conexão do cabo fixado em uma das extremidades dentro da câmera de modo à substituição da ação mecânica direta do operador para obtenção das imagens.

As imagens foram armazenadas em um cartão interno modelo SD card de 1 GB de armazenamento e posterior descarregamento, através do software específico FinePixViewer.

Apesar de serem necessárias duas imagens da mesma cena para a obtenção do par estereoscópico, considerando a necessidade de um pequeno deslocamento angular para tomada de cada imagem ou efeito paralaxe, fez-se a opção de emprego de apenas uma câmera digital.

O emprego de duas câmeras resultaria na obtenção de imagens a partir de mecanismos distintos em relação à orientação interior. Desse modo, a partir de uma única câmera, reduziu-se a probabilidade de acúmulo de erros específicos a cada equipamento.

3.5.2 Pontos de controle

Nesse trabalho, obteve-se os pontos de controle adotando-se a estrutura metálica de 1 m X 1 m como referência. Em cada lado, foi fixada uma fita métrica criando-se assim um referencial local similar a plano cartesiano, cujo vértice inferior esquerdo foi arbitrado como sendo o zero desse referencial local.

As cotas X e Y foram arbitradas em valores fixos crescentes, desde o ponto um até o ponto nove, distanciados sempre a 0,25 m entre si e entre o quadro metálico delimitador da área útil, facilitando e agilizando a obtenção das imagens.

Assim, restou a obtenção dos valores das cotas Z para cada ponto de controle, os quais foram obtidos a partir de uma trena metálica adotando-se, para facilidade operacional e maior precisão, a haste de fixação da

câmera como referencial, convertendo-se, posteriormente, o referencial dessas leituras para a base do quadro metálico de fixação da câmera.

Obteve-se portanto, os valores das cotas Z para cada um dos nove pontos de controle, que foram registrados no campo em uma planilha com posterior inserção no software Erdas e seu aplicativo LPS.

Não obstante esse software solicitar um mínimo de três pontos de controle foram obtidos nove pontos de controle em cada unidade experimental com o objetivo de dar maior precisão ao processo de instrução, além de permitir, em eventual necessidade, o descarte de alguns pontos coletados, considerados de maior erro amostral.

Esses pontos de controle foram identificados nas imagens através de etiquetas de papel fixadas ao solo com alfinetes metálicos. O ponto central desses alfinetes foi adotado como referencial de localização do ponto para maior precisão no processamento fotogramétrico. Esse procedimento objetivava a identificação desses pontos na etapa posterior de operação no software Erdas, aplicativo LPS.

A Figura 25 detalha a identificação dos pontos de controle, em uma das imagens das unidades experimentais onde se vê os nove pontos de controle além dos seis pontos obtidos via estereoscopia.

Para a obtenção da linha contínua que representasse o perfil do solo adotou-se o expediente de unir as três linhas centrais que continha os pontos de controle e os pontos obtidos, de modo que a manipulação no software MatLab fosse procedida para a geração da dimensão fractal de cada linha do perfil do solo.



Figura 25. Imagem da parcela F na qual as etiquetas brancas fixadas no solo marcam os nove pontos de controle e os símbolos “X” localizam os seis pontos obtidos via estereoscopia.

Os maiores valores da dimensão fractal se referem a maior variação ao longo dessa linha representativa, de modo que a cada condição de rugosidade apenas um valor de dimensão fractal seja esperado.

Na Figura 26 identifica-se os pontos de controle, dentro do ambiente do software Erdas, aplicativo LPS, onde percebe-se alguns pontos de controle em destaque na etapa intermediária para obtenção dos valores de alturas dos torrões ou cotas Z.

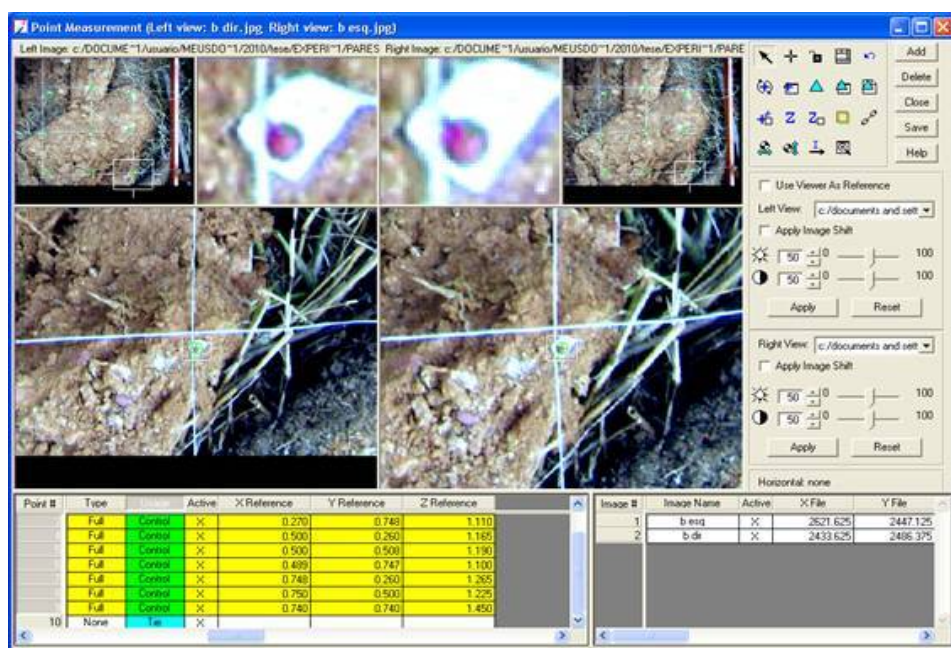


Figura 26. Janela do aplicativo LPS durante identificação dos pontos de controle e inserção dos valores das suas cotas para reprodução do modelo tridimensional.

Desse modo, foram obtidos, a partir e ao longo desses nove pontos de controle, outros seis pontos ao longo de três linhas centrais na imagem, permitindo que fosse satisfeita a condição de reprodução do perfil superficial do solo e, com esses pontos, traçar a curva submetida a uma rotina no software MatLab para a determinação da sua dimensão fractal.

3.6 Obtenção do Índice de Rugosidade com o perfilômetro

Empregou-se um perfilômetro constituído de 20 hastes, espaçadas entre si de 0,05 m, e posicionado dentro de cada parcela sobre um quadro metálico de 1 m x 1 m.

As leituras das hastes foram obtidas no campo a partir das imagens do perfilômetro, empregando-se uma câmera digital marca Fuji modelo FinPix Z10fd, fixada a 1,4 m de distância, sendo procedida a tomada de seis imagens em cada parcela.

Três dessas imagens foram obtidas com o deslocamento do perfilômetro no sentido longitudinal da parcela e três imagens com deslocamento no sentido transversal, igualmente espaçadas de 0,25m e identificadas com marcas sobre a estrutura metálica de suporte ao perfilômetro.

Dessas seis leituras foi gerada uma leitura de valor médio, para cada parcela, e a partir desse valor médio é que determinou-se o Índice de Rugosidade, a partir do modelo proposto por Allmaras et al. (1966), sendo essa manipulação matemática das leituras o ponto de maior fragilidade desse método.

Assim, foi possível integrar na análise as eventuais variações no comportamento da rugosidade do solo conforme o sentido de caminhamento, pois, segundo Castro et al., 2006, é possível registrar, sobre uma superfície mobilizada, dois comportamentos distintos da rugosidade superficial do solo, as chamadas rugosidade aleatória e rugosidade orientada, respectivamente com sentido de caminhamento transversal e longitudinal em relação ao preparo do solo.

A Figura 27 mostra o perfilômetro empregado e a fixação, no seu anteparo metálico, de um papel milimetrado para leituras das cotas Z das hastes a cada milímetro, e também, linhas destacadas a cada 0,05 m para facilidade de obtenção dessas leituras.

Percebe-se também a fixação de etiquetas com a identificação das hastes ímpares, também com objetivo de facilitar a identificação de cada haste por ocasião da obtenção das leituras.

Essas imagens foram ampliadas para a observação visual e registro dos valores das leituras de cada uma das vinte hastes, em cada uma das imagens, adotando-se a graduação a cada milímetro.

Com base nas imagens do perfilômetro, posicionado nas unidades experimentais, empregou-se o software Microsoft Office Picture Manager para se obter as leituras das hastes. A partir daí os valores lidos foram inseridos em planilhas do software Microsoft Office Excel 2007 para o

calculado do Índice de Rugosidade com base no modelo descrito por Allmaras et al. (1966).



Figura 27. Perfilômetro de 20 hastes fixado sobre a estrutura metálica com as marcações das três posições (1, 2 e 3) de fixação.

Apesar de serem empregados diversos modelos para obtenção do índice de rugosidade, aqui fez-se a opção pelo modelo baseado em Allmaras et al. (1966), descrito por Vázquez e Gonzalez (2003a), apresentado na Equação (13).

$$IR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(Y_i - \bar{Y} \right)^2}{n}} \quad (13)$$

Em que:

IR = Índice de rugosidade do solo, cm;

Y = altura de cada haste, cm;

$\bar{Y}$ = média das alturas, cm, e,

n = número de leituras.

3.7 Emprego do software MatLab

Com base nas imagens das diferentes superfícies mobilizadas obtidas, foram empregadas, dentro do ambiente do software MatLab, uma sequência de programação ou rotinas, que permitiram que fossem gerados valores distintos da dimensão fractal para cada superfície mobilizada analisada.

Essas rotinas, empregadas nesse trabalho, foram elaboradas por Macedo et al. (2007) e dispõe de uma interface gráfica de visualização da imagem em processamento e posterior obtenção da dimensão fractal.

3.8 Determinação da Dimensão Fractal em duas formas

A determinação dos valores da Dimensão Fractal foi feita sob duas formas distintas, uma que submeteu as imagens bidimensionais do solo mobilizado a tratamentos fotogramétricos de modo a obter, com a estereoscopia, os valores das alturas dos torrões ou sua cota Z. Essa, por vezes, é referida nesse trabalho como Dimensão Fractal 1.

A outra forma é a aqui denominada Dimensão Fractal 2 que utiliza as imagens bidimensionais do solo mobilizado diretamente, sem empregar a fotogrametria, aplicando apenas o corte na imagem original de modo a extrair a área central para processamento.

3.8.1 Determinação da Dimensão Fractal empregando a fotogrametria

Dentro do ambiente do software MatLab operou-se com as rotinas que implementaram o processo denominado box-counting, no qual o perímetro das imagens das superfícies do solo é preenchido com caixas (box) de forma iterativa. Assim, cada vez haverá mais caixas, porém, em menor tamanho que, ao serem somadas são automaticamente relacionadas com a dimensão de cada caixa.

Sequencialmente, essa rotina gera um gráfico dos valores dos logaritmos do número de caixas como eixo das ordenadas versus os valores dos logaritmos das dimensões de cada caixa, estes como eixo das abscissas.

Com isso, obtêm-se o valor da dimensão fractal, dado pela inclinação da reta gerada nesse gráfico para cada superfície mobilizada, o que permitiu avaliar a efetividade dessa metodologia, pois as superfícies analisadas apresentam rugosidades visualmente distintas, esperando-se que os valores encontrados da dimensão fractal para cada parcela também o sejam.

Assim, propôs-se aqui a aplicação da determinação da rugosidade superficial do solo pelo emprego da dimensão fractal das imagens de superfícies do solo em substituição ao atual Índice de Rugosidade.

Desse modo, pretendeu-se obter valores distintos para condições de rugosidade da superfície do solo visualmente também distintas, de modo que esse parâmetro forneça uma indicação da real condição física da superfície do solo.

A linha única formada foi destacada da imagem sendo em seguida submetida à rotina elaborada no software MatLab que procedeu assim à determinação da Dimensão Fractal dessa linha do perfil do solo, o que pode ser observado na Figura 28.

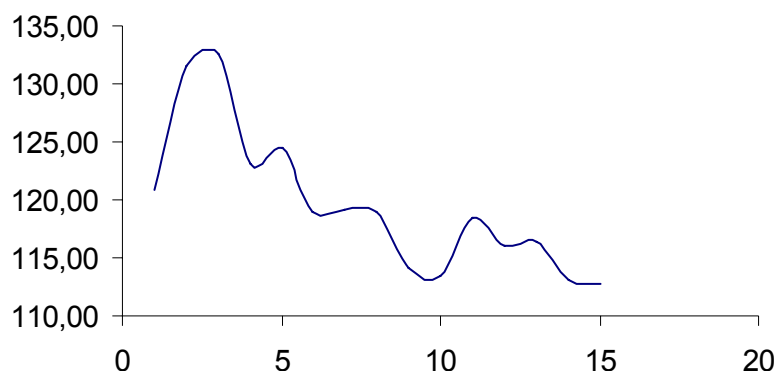


FIGURA 28. Obtenção da linha contínua representativa de cada parcela experimental.

A linha superficial do solo foi então extraída para ser a única imagem a ser submetida ao cálculo dentro do ambiente do software MatLab, mostrado na Figura 29.

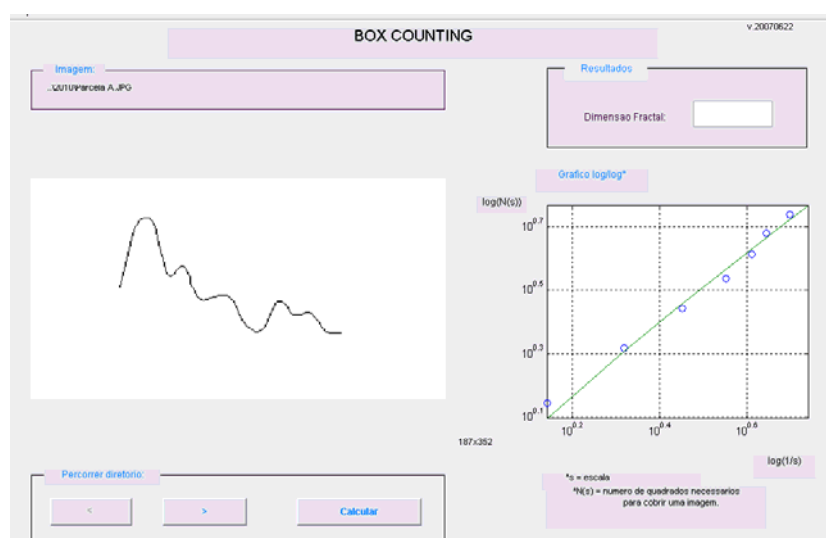


Figura 29. Abertura da imagem da linha do perfil contínuo do solo dentro do ambiente do software MatLab para obtenção do valor da dimensão fractal.

A etapa intermediária na qual o software MatLab processa os cálculos empregando o método Box-counting é mostrado na Figura 30.

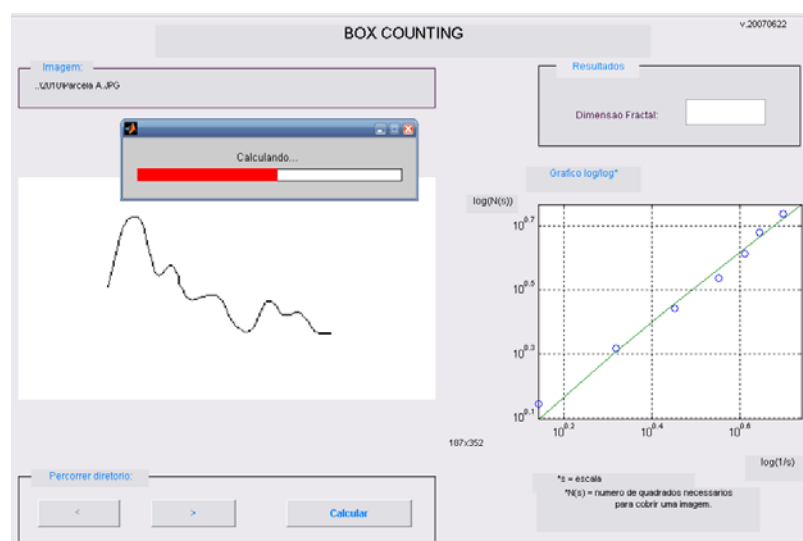


Figura 30. Etapa intermediária ao cálculo para obtenção da dimensão fractal pelo software MatLab.

Na sequência, obteve-se portanto, o valor da dimensão fractal para cada unidade experimental sendo que, o maior valor indica maior irregularidade ao longo do perfil e diferentemente do Índice de Rugosidade, não é esperado a eventual dualidade de valores para distintas condições de rugosidade do solo.

Nesse caso, considera-se que solos mobilizados em condições visualmente opostas apresentem o mesmo valor do Índice de Rugosidade pela avaliação estatística do desvio padrão das leituras de alturas das hastes.

A Figura 31 mostra a etapa de conclusão do cálculo do valor da dimensão fractal para a parcela A, cujo valor da dimensão fractal foi de 0,874414.

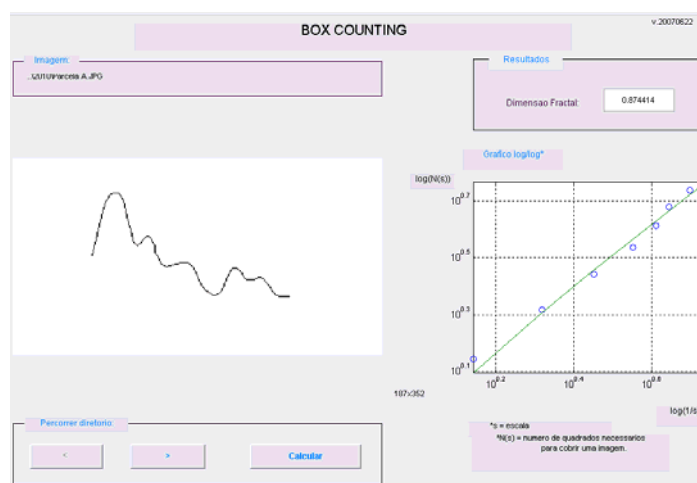


Figura 31. Conclusão do cálculo da dimensão fractal ao alto à esquerda, submetendo-se, como nas demais parcelas, apenas a linha do perfil do solo.

3.8.2 Determinação da Dimensão Fractal com imagens bidimensionais

A segunda forma de obtenção da Dimensão Fractal também empregou as mesmas imagens bidimensionais do solo mobilizado, porém, nessa condição, as imagens sofreram apenas uma redução padronizada em tamanho.

Com isso a área central da imagem foi extraída, empregando o aplicativo Microsoft Office Picture Manager. Esse expediente buscou minimizar os efeitos dos erros óticos eventualmente gerados por ocasião da obtenção das imagens.

Convencionou-se a adoção da imagem direita, do par estereoscópico, como base para manipulação e extração da área central da imagem para obtenção da Dimensão Fractal.

O critério para delimitar, em todas as imagens, a área útil a ser empregada foi a que formasse o menor retângulo que contivesse os nove pontos de controle, de fácil identificação visual em todas as imagens.

A Figura 32 mostra a imagem antes e após a obtenção da área mais central para determinação da Dimensão Fractal 2.

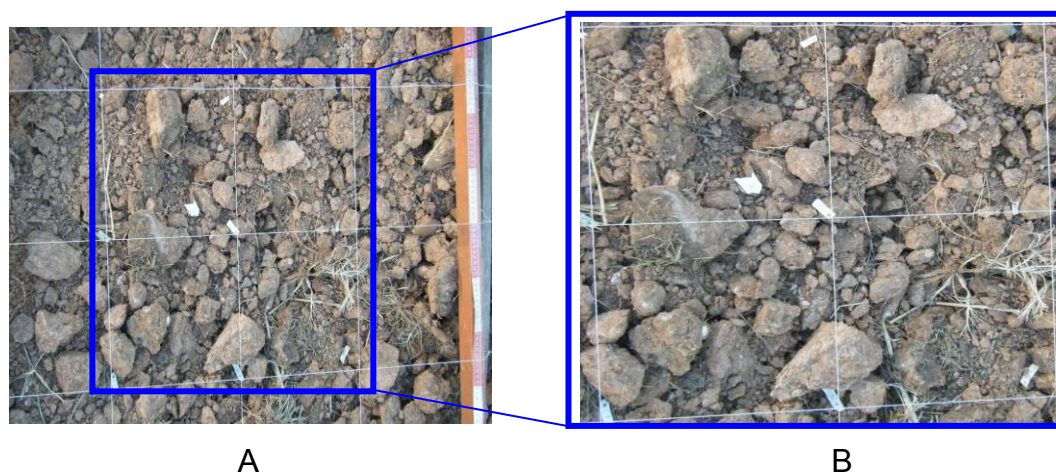


Figura 32. Sequência de obtenção da área central das imagens para determinação da Dimensão Fractal de imagens bidimensionais. “A” antes do processamento e “B” após.

As linhas brancas foram empregadas para obtenção de todas as imagens, pois, era o referencial necessário para orientação por ocasião do registro dos pontos de controle. Esse gride ou malha formada pela linha branca representava os eixos X e Y do plano cartesiano formado pelas estruturas do quadro metálico, delimitador da área útil dentro das parcelas.

A Figura 33 mostra o processo de obtenção do valor da Dimensão Fractal a partir de imagens bidimensionais do solo mobilizado que é vista à esquerda.

Essa imagem se refere à obtenção do valor de Dimensão Fractal para a primeira parcela do Bloco 2 e cujo valor foi de 1,95203.

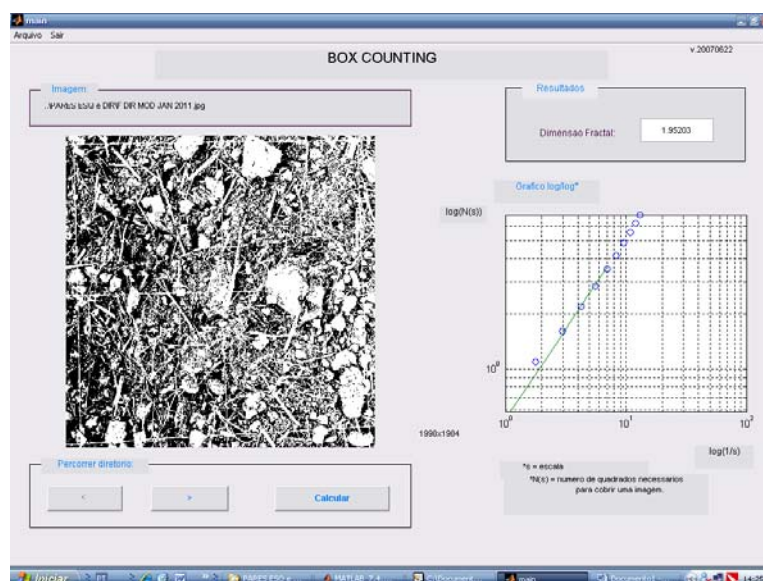


Figura 33. Etapa final de obtenção do valor da Dimensão Fractal para o método das imagens bidimensionais.

3.9 Análise estatística dos métodos avaliados

Foi realizado, para cada método avaliado a análise de variância para verificação da efetividade de cada um deles em distinguir os cinco Tratamentos ou cinco formas distintas de preparo de solo.

Todos os procedimentos estatísticos foram realizados considerando o nível de 5% de probabilidade. Para as análises estatísticas utilizou-se o programa GENES, versão 4.1 de 2006 (Cruz, 2006), por sua praticidade e por estar disponibilizado no Departamento de Estatística da Universidade Federal de Viçosa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Umidade do solo

Na Tabela 1, são apresentados os resultados da análise de solo com os valores obtidos da umidade gravimétrica para cada parcela e médias para cada tratamento. Observa-se uma variação dos valores da umidade do solo, que já era esperada pelo estudo ter sido conduzido em uma área de várzea.

Os valores constantes na Tabela 1 foram submetidos a uma análise de variância, que é mostrada na Tabela 2, onde percebe-se grande variabilidade entre as parcelas, o que pode ser explicado também por uma eventual variação no manejo anterior da área.

O teste F para tratamentos (Tabela 2) sugere que os cinco métodos de preparo de solo proporcionaram, em média, o mesmo valor da umidade gravimétrica.

Tabela 1. Valores da umidade gravimétrica do solo em cada parcela, tratamento, bloco e geral

TRATAMENTO	BLOCO	UMIDADE(%)	
		Parcela	Média
1 (aração)	1	12,58	17,55
	2	12,91	
	3	23,41	
	4	11,01	
	5	27,83	
2 (aração mais duas gradagens)	1	5,83	19,89
	2	14,22	
	3	28,64	
	4	22,78	
	5	28,00	
3 (aração mais duas gradagens mais enxada rotativa)	1	23,28	24,39
	2	20,63	
	3	28,24	
	4	27,96	
	5	21,83	
4 (escarificador)	1	20,20	21,72
	2	16,51	
	3	22,24	
	4	24,87	
	5	24,77	
5 (enxada rotativa)	1	29,21	22,86
	2	14,82	
	3	36,45	
	4	7,57	
	5	26,26	
Média geral da área experimental			21,28

Percebe-se uma grande amplitude entre os valores de umidade tanto dentro de bloco como entre eles, que pode ter sido influenciado por variações no teor e nível de decomposição da matéria orgânica do solo além do nível de compactação subsuperficial.

Tabela 2. Análise de variância para umidade do solo, em porcentagem

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Blocos	4	537,46	134,37	3,05	0,048
Tratamento	4	141,02	35,25	0,80	0,543
Resíduo	16	705,51	44,09		
CV = 31,20 %					

Com isso mesmo coletando-se amostras de solo à mesma profundidade em todos os tratamentos, houve diferença esperada para o grau de umidade, pois diferentes profundidades de ação dos implementos, como entre o arado de discos e a enxada rotativa, emergem frações do solo com distintos teores de água.

4.2 Diâmetro Médio Ponderado (DMP)

O Diâmetro Médio Ponderado (DMP) do solo foi obtido para cada uma das cinco formas de preparo do solo conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3. Diâmetro Médio Ponderado (DMP) do solo em cada tratamento

Tratamento	Diâmetro Médio Ponderado DMP(mm)
1	1,14
2	1,16
3	1,50
4	1,07
5	1,77

Verifica-se na Tabela 3 que os valores do Diâmetro Médio Ponderado foram maiores nos tratamentos 3 e 5.

A ação dos implementos empregados e a forma como utilizados nos tratamentos 3 e 5 criaram níveis de rugosidade superficial do solo dentro do que Boller et al. (1997) apontam como esperado para essas condições.

Ao se analisar essa relação inversa entre tamanho das frações menores nesses tratamentos com maiores valores de DMP encontrados, pode-se apontar a metodologia empregada descrita por Embrapa (1997), que emprega diâmetros de peneiras, e, portanto diâmetro das frações analisadas, menores que 2 mm, diferentemente de metodologias que adotam uma bateria de peneiras acima de 2 mm.

4.3 Índice de Rugosidade

Observa-se na Tabela 4, os valores, em centímetros, do Índice de Rugosidade para cada tratamento.

A avaliação recorrente em experimentos conduzidos para determinação da rugosidade superficial do solo analisa e distingue entre as diversas formas de manejo e emprego de implementos quanto à maior conservação do solo e da água (BERTOLANI et al., 2000). Considerando ser a rugosidade superficial do solo parâmetro diretamente relacionada com a capacidade de conservação desses recursos.

Tabela 4. Índice de Rugosidade (cm) de todas as parcelas experimentais empregando-se o perfilômetro

Parcela	Bloco				
	I	II	III	IV	V
1	6,1	1	1,6	2,4	3,6
2	5,8	2,4	2,2	1,6	2,9
3	1,6	3	3,1	1	1,9
4	2,5	2,4	2,2	2,7	1,6
5	2,7	3,6	1,6	1,9	1,5

Pode-se perceber uma grande variação do valor do Índice de Rugosidade dentro de cada bloco, pois as formas de preparo criam rugosidades distintas, conforme apontam Silva et al. (1999), Rosa (2007), Câmara e Klein (2005) e Levien et al. (2003).

O emprego conjunto do arado de discos com uma grade aradora tende a proporcionar um maior índice de rugosidade superficial do solo comparativamente ao emprego conjunto da grade aradora e da enxada rotativa (COAN, 1995).

As diferentes profundidades de trabalho dos implementos empregados contribuíram para essa variação do Índice de Rugosidade entre os cinco tratamentos, pois a ação intrínseca de cada implemento promove a deposição superficial do solo em formas e tamanhos distintos.

Com base nos resultados da análise estatística, apresentados na Tabela 5 percebe-se que não foi detectada diferença a 5% de probabilidade, ao se empregar o teste F, entre as formas de preparo, em relação ao índice de rugosidade obtido com o perfilômetro.

Esse resultado indica uma limitação deste método em distinguir níveis de rugosidade visualmente distintos.

Tabela 5. Análise de variância para o Índice de Rugosidade do solo obtido com emprego do perfilômetro para as unidades experimentais

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	P valor
Blocos	4	10,21	2,55	1,70	0,199
Tratamento	4	3,36	0,84	0,56	0,695
Resíduo	16	24,01	1,50		
CV = 48,69 %					

Também pode-se atribuir a essa incapacidade do método em identificar essas distintas formas de preparo às limitações intrínsecas dos modelos matemáticos, pois ao tratarem os desvios das leituras das hastas,

podem gerar os mesmos valores do Índice de Rugosidade para superfícies com movimentação superficial, visualmente distintas.

Assim, a determinação da rugosidade superficial do solo com emprego do perfilômetro não retratou com fidelidade a real condição física superficial do solo, constituindo-se exclusivamente em um tratamento estatístico descritivo dos valores de leitura das hastes.

Com isso não se elimina a possibilidade de que duas superfícies, com distinta movimentação superficial do solo entre si, possam apresentar o mesmo valor absoluto do Índice de Rugosidade.

Ao descrever a aplicação de um perfilômetro para obtenção do índice de rugosidade superficial do solo, Volk (2006) cita que posicionou o perfilômetro apenas no sentido transversal ao preparo do solo, não coletando, portanto informações sobre a rugosidade orientada que é obtida com o posicionamento do perfilômetro no sentido longitudinal ao preparo do solo.

De forma diferente, foi realizado nesse trabalho, pois o perfilômetro foi posicionado, em cada unidade experimental, tanto no sentido transversal quanto longitudinal ao preparo do solo, captando assim a rugosidade total, com informações mais fiéis acerca da real condição física da superfície do solo.

Assim pode-se obter o efeito comparativo do método de emprego do perfilômetro com o método da Dimensão Fractal que, dentro da área útil abrangeu uma cobertura bidimensional da superfície do solo.

Outra limitação do método que emprega o perfilômetro é a possibilidade de ocorrer a formação de blocos de solo que deixam vazios de profundidade variável nas quais as hastes do perfilômetro não atingem a profundidade total deixando de captar essa importante informação, e justamente em condições de preparo mais agressivo do solo.

Também é possível a ocorrência do evento no qual o perfilômetro é posicionado sobre um bloco maior de solo de modo que grande parte de suas hastes fiquem apoiadas nesse bloco.

Essas duas situações descritas são mostradas na Figura 34, ambas obtidas na Aração, na mesma parcela, e podem, em parte, explicar as variações mais extremas nos valores do Índice de Rugosidade, tanto entre os cinco Tratamentos, quanto dentre eles.



Figura 34. Leituras do perfilômetro na mesma parcela em duas posições, separadas de 0,25 m entre o posicionamento do perfilômetro em “A” e em “B”.

Assim, essa situação sugere haver uma condição de superfície mais plana do solo quando na verdade ocorreu um deslocamento mais intenso de solo e a circunvizinhança poderá apresentar depressão mais pronunciada, por exemplo, no ponto de onde o bloco referido foi deslocado.

4.4 Dimensão Fractal pelo método fotogramétrico

Na Tabela 6 são mostrados os valores de Dimensão Fractal empregando a fotogrametria, e que são adimensionais, encontrados para as vinte e cinco parcelas.

Os valores são fracionários, pois representam uma peculiaridade da Dimensão Fractal, diferente da geometria euclidiana cujas dimensões são obtidas com valores inteiros.

Tabela 6. Valores da Dimensão Fractal empregando a fotogrametria

Parcela	Bloco				
	I	II	III	IV	V
1	0,874414	0,868585	0,960124	0,867675	0,960271
2	0,845873	0,888677	0,918034	0,951921	0,909255
3	0,848180	0,806786	0,853747	0,952434	0,872457
4	0,973988	0,884833	0,876101	0,947260	0,921259
5	0,899879	0,806101	0,924302	0,892970	0,926954

Tabela 7 descreve a análise estatística para o método da Dimensão Fractal que emprega a fotogrametria.

Percebe-se que não houve diferença, estatisticamente significativa, ao nível de 5% de probabilidade, entre os tratamentos, apontando para uma limitação do método em distinguir as cinco condições de preparo do solo que resultaram em níveis de rugosidade visualmente distintos.

Essa incapacidade do método em distinguir os níveis de rugosidade pode ser atribuído ao fato de se ter optado pela obtenção de uma linha única tomada como representativa do perfil superficial do solo, o que pode ter contribuído para a que linha na verdade refletisse a condição de uma parcela mais restrita da camada superficial.

Tabela 7. Análise de variância para valores da Dimensão Fractal pelo método fotogramétrico

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Blocos	4	0,0168	0,0042	2,49	0,084
Tratamento	4	0,0082	0,0020	1,22	0,342
Resíduo	16	0,0270	0,0017		
CV = 4,59 %					

Esse método foi o mais oneroso por necessitar do software fotogramétrico além da especificidade na obtenção das imagens para atender a exigências da estereoscopia, exigindo um procedimento específico desde a obtenção no campo até o processamento dessas imagens.

4.5 Dimensão Fractal de imagens bidimensionais

O método da Dimensão Fractal que emprega imagens bidimensionais, também fornece os valores fracionários, porém, de forma diferente do método da Dimensão Fractal com emprego da fotogrametria, apresenta esses valores entre 1 e 2, como era esperado.

A Tabela 8 mostra os valores de Dimensão Fractal com imagens bidimensionais obtidos para as vinte e cinco parcelas.

Tabela 8. Valores obtidos pelo método da Dimensão Fractal a partir de imagens bidimensionais

Parcela	Bloco				
	I	II	III	IV	V
1	1,94663	1,95203	1,97521	1,96731	1,98793
2	1,87681	1,95508	1,95511	1,96654	1,92185
3	1,86304	1,94182	1,94392	1,89639	1,79450
4	1,95582	1,93025	1,96758	1,92837	1,87347
5	1,91893	1,94900	1,92825	1,92342	1,91894

A Tabela 9 mostra a análise estatística para o método da Dimensão Fractal de imagens bidimensionais onde observa-se o baixo coeficiente de variação indicando ótima precisão experimental.

Percebe-se que esse método foi capaz de detectar diferença, de 5%

de probabilidade, entre as formas de preparo do solo. Esse resultado indica a efetividade desse método, em relação aos demais avaliados, em distinguir níveis de rugosidade superficial do solo, visualmente distintas.

Tabela 9. Análise de variância para o método da Dimensão Fractal obtidos das imagens digitais bidimensionais

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	P-valor
Blocos	4	0,0105	0,0026	2,45	0,088
Preparo	4	0,0154	0,0038	3,58	0,029
Resíduo	16	0,0172	0,0010		
CV(%) = 1,70					

Na Tabela 10 é apresentada a síntese da análise estatística dos métodos avaliados percebe-se a superioridade do método da Dimensão Fractal de imagens bidimensionais em distinguir os diferentes Tratamentos empregados.

O método da Dimensão Fractal que emprega a fotogrametria, se mostrou ligeiramente superior ao Índice de Rugosidade por apresentar maior exatidão estatística, não obstante, ambos não serem efetivos em identificar diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 10. Média e desvio padrão do Índice de Rugosidade, da Dimensão Fractal fotogramétrica, da Dimensão Fractal de imagens bidimensionais, da Umidade do solo e valores absolutos do Diâmetro Médio Ponderado (DMP) em cada Tratamento

Tratamento	Índice de Rugosidade		Dimensão Fractal (fotogrametria)		Dimensão Fractal (imagens bidimensionais)		Umidade (%)		DMP (mm)
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	
1	2,940	2,017	0,9062	0,0493	1,9658 ^a	0,0169	17,55	7,57	1,14
2	2,980	1,644	0,9028	0,0391	1,9351 ^{ab}	0,0366	19,89	9,75	1,16
3	2,120	0,909	0,8667	0,0536	1,8879 ^b	0,0622	24,39	3,52	1,50
4	2,280	0,421	0,9207	0,0413	1,9311 ^{ab}	0,0363	21,72	3,50	1,07
5	2,260	0,885	0,8900	0,0492	1,9277 ^{ab}	0,0125	22,86	11,56	1,77
DMS- Tukey					0,0636				

Médias seguidas por pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pela Tabela 10, pode-se observar que o teste F detectou diferenças significativas entre os níveis de rugosidade do solo.

Essas diferenças foram registradas entre os tratamentos T1 e T3, ou seja, entre o preparo utilizando exclusivamente o arado de discos (T1) e o preparo do solo empregando o arado de discos mais duas gradagens além de uma passada da enxada rotativa (T3).

Esses dois tratamentos, distinguidos pelo método do valor da Dimensão Fractal obtido a partir das imagens bidimensionais, mostram-se visualmente contrastantes e cuja distinção, para condições próximas, foi apontada por Reis (2009), ao empregar um perfilômetro de hastes.

Esses tratamentos, identificados pelo método da Dimensão Fractal quando empregando imagens bidimensionais, constituíram-se em condições físicas da superfície do solo visualmente distintas com claro propósito de instrução aos métodos avaliados, criando uma expectativa de facilitada distinção.

Porém, mesmo submetendo os três métodos às esses gradientes das condições físicas da superfície do solo o perfilômetro de hastes, bem

como o método da Dimensão Fractal com emprego da fotogrametria, não conseguiu identificá-las, reforçando portanto a idéia de sua limitação para avaliação da rugosidade superficial do solo.

A Tabela 10 também indica que o método da Dimensão Fractal de imagens bidimensionais foi o que registrou o menor coeficiente de variação, CV(%) em relação aos dois outros métodos. Portanto esse método é o menos oneroso dos três métodos avaliados e o mais efetivo por identificar distinção entre alguns tratamentos.

Como as imagens foram obtidas em condições de emprego de câmera não-métrica e não submetida a processos de calibração, os resultados devem ser interpretados, de forma expressa e restrita, para as condições desse trabalho.

Não obstante, o método da Dimensão Fractal com emprego de imagens bidimensionais mostrou-se promissor para futuros trabalhos, notadamente, com vistas a estender o alcance das imagens a áreas maiores, o que o tornaria ainda mais efetivo e menos oneroso.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, nas condições desse experimento, pode-se concluir que:

- A estrutura proposta para a obtenção das imagens digitais das cinco diferentes formas de preparo do solo mostrou-se viável captando as imagens antes do posicionamento do perfilômetro permitindo o confronto entre os métodos nas mesmas condições espaço-temporais;
- O método tradicional que emprega o perfilômetro para obtenção do Índice de Rugosidade não conseguiu distinguir os tratamentos avaliados;
- O emprego da metodologia que emprega frações menores que 2 mm para determinação do DMP concorreram para os registros de valores inversamente proporcionais ao nível de rugosidade proporcionado pelos cinco tratamentos analisados;
- O emprego da rotina elaborada no software MatLab mostrou-se capaz de determinar a dimensão fractal das linhas do perfil do solo e das imagens bidimensionais com baixo custo computacional;
- A Dimensão Fractal com emprego das imagens bidimensionais constituiu-se no método mais robusto que os métodos do perfilômetro e da Dimensão Fractal com emprego da fotogrametria, identificando dois níveis distintos de rugosidade superficial do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, S. A. Resposta espectral do capim-tanzânia à adubação nitrogenada e densidades de plantio. 2007. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

ACCIOLY, L. J. O.; HUETE, A. R.; BATCHILY, K. Resposta espectral dos solos da microbacia de walnut gulch em função do ângulo de visada, da umidade e da rugosidade superficial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos, SP, **Anais...** Santos, INPE, 1998, p. 1267-1274.

ALLMARAS, R. R.; BURWELL, R. E.; LARSON, W. E.; HOLT, R. F. NELSON, W. W. **Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage**. Washington, USA, Conservation Research Report. 1966. 22p.

ALONÇO, A. S.; MARINI, V. K.; MASSOCO, D. B.; PINHEIRO, E. D. Avaliação técnica de uma máquina para a correção de microrrelevo do solo de áreas destinadas ao cultivo de arroz irrigado. *Ciência Rural*, Santa Maria, RS, v.36, n.5, p.1643-1646, 2006.

ANDRADE, A. R. S. **Aplicação da teoria fractal e da geoestatística na estimativa da condutividade hidráulica saturada e do espaçamento entre drenos**. 2002. 181f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita", Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 2002.

BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K.; VILLA NOVA, N. A. Fractal scaling of particle and pore size distributions and its relation to soil hydraulic conductivity. **Science Agriculture**, v.53, n.2, p. 1-9, 1996.

BACKES, A.; BRUNO, A.; BARROS FILHO, M.; BRUNO, O. Análise da complexidade de texturas em imagens urbanas utilizando dimensão fractal. **GeolInfo 2007: IX Brazilian Symposium on GeoInformatics**. São Carlos, SP, 2007.

BERTOL, I.; AMARAL, A. J.; VÁZQUEZ, E. V.; GONZÁLEZ, A. P.; BARBOSA, F. T.; BRIGNONI, L. F. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30 n.5, Viçosa, MG, p. 543-553, 2006a.

BERTOL, I.; GONZÁLEZ, A. P.; VÁZQUEZ, E. V. Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.1, p.103-110, jan. 2007.

BERTOL, I.; MELLO, E. L.; COGO, N. P.; VÁZQUEZ, E. V.; GONZÁLEZ, A. P. Parâmetros relacionados com a erosão hídrica sob taxa constante da enxurrada, em diferentes métodos de preparo do solo. Viçosa, MG, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30 n.4, 2006b.

BERTOLANI, F. C.; GONZÁLEZ, A. P.; LIÑARES, M. L.; VÁZQUEZ, E. V.; MIRANDA, J. G. V. Variabilidade espacial da rugosidade superficial do solo medida com rugosímetros de agulhas e laser. **Bragantia**, Campinas, SP, 59(2), p. 227-234, 2000.

BOLLER, W.; GAMERO, C. A.; PEREIRA, J. O. Avaliação de diferentes sistemas de preparo e de condições de cobertura do solo. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, SP, v.17, n.2, p.52-63, 1997.

CALAZANS, P. M. P. e CASTIGLIONE, L. H. G. Aerolevantamento fotolaser: especificação de aerolevantamentos fotogramétrico e a laser na produção de bases geoinformacionais de alta qualidade para o gismineral de áreas em Corumbá, MS. **Anais: 2 Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Corumbá, MS, 2009. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.80-89.

CÂMERA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.29 n.5, Viçosa, MG, set./out. 2005.

CARVALHO FILHO, A.; CENTURION, J. F. ; SILVA, R. P. ; FURLANI, C. E. A.; CARVALHO, L. C. C. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, SP, v.27, n.1, p.229-237, 2007.

CARVALHO, J. J.; AZEVEDO, C. A. V.; HENRIQUE, J.; DANTAS N. J.; LIMA, V. L. A.; PORDEUS, R. V. Variabilidade espacial e temporal da seção transversal de escoamento superficial em sulcos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, vol.7, no.1, 2003, 13 p.

CARVALHO, J. R. P.; DECHEN, S. C. F.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial da agregação do solo avaliada pela geometria fractal e geoestatística. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 1-9, 2004.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v.30, p.339-352, 2006.

CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. MANGETI A.; BEUTLER, N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, vol.31 no.2. 2007.

CIBERMÉTRICA. Perfilômetro Inercial Laser. Disponível em: <<http://www.cibermetrica.com.br/ciberlaser.htm>>. Acesso: em 28 de setembro de 2007.

COAN, O. **Sistemas de preparo de solo: efeitos sobre a camada mobilizada e no comportamento das culturas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e do milho (*Zea mays* L.), conduzidas em rotação**. 1995. 138 f. Tese (Livre docência em Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, SP, 1995.

COELHO, L. e BRITO, J. N. **Fotogrametria digital**. EDUERJ, Rio de Janeiro, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2007. 196 p.

COELHO, R. D.; MARTIN, D. L.; CHAUDRHY, F. H. **Degradation of surface storage with LEPA irrigation**. St. Joseph: ASAE, Paper n.952415, 1995. 30p.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CEPIK, C. T. C.; DEBIASI, H. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavourapecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.27, n.1, p.220-228, 2007.

COSTA, F. J. M. **Ventilação e prescrições urbanísticas: Uma aplicação simulada no bairro de petrópolis em Natal/RN**. 2001, 218f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2001.

CRUZ, C. D. **Programa Genes versão Windows**. Aplicativo Computacional em Genética e Estatística. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 648p.

CRUZ, E. S.; CARVALHO, D. F.; VARELLA, C. A. A.; SILVA, L. D. B.; SOUZA, W. J.; PINTO, F. A. C. Comparação de classificadores de imagens digitais na determinação da cobertura do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.28, n.2, p.237-244, 2008.

DENARDIN, J.E. Preparo conservacionista do solo. **Revista Plantio Direto**, Ponta Grossa, PR, v.5, n.21, p.2, 1987.

DIAS, J. S. e MOTTA, M. S. Caracterização da rugosidade superficial através de técnica ultra-sônica. In: XXI Congresso Nacional de Ensaios Não Destrutivos/6ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos. Salvador, BA, 2002. 6 p.

DIBAN, D. O. N. **Uma proposta de modelagem fractal de design de produto**. 2000. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

DISPERATI, A. A. **Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, FUPEF, 1991. 290 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

FARIA JÚNIOR, J. P. T. **Relevos e edificações tridimensionais usando fractais**. UNIFOA, Volta Redonda, RJ, 2007.

FERNANDES, H. C.; MION, R. L.; VIEIRA, L. B.; DIAS, G. P. Avaliação operacional de um equipamento conjugado no preparo vertical com relação à desagregação do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.21, n.2, p.190-196, 2001.

FIGUEIREDO, S. M. M. e CARVALHO, L. M. T. Análise comparativa entre técnicas de classificação digital em imagens Landsat no mapeamento do uso e ocupação do solo em Capixaba, Acre. Florianópolis, SC. **Anais: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto Brasil**. INPE, 2007, p. 6729-6736.

GAMERO, C.A. e BENEZ, S.H. Avaliação da condição do solo após a operação de preparo. In: IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola, 1.,1990, Jundiaí. Anais... Jundiaí: Fundação Cargill,1990. p.12-21.

GUZHA, A. C. **Effects of tillage on soil microrelief, surface depression storage and soil water storage**. Department of Land and Water Resources Management, Midlands State University, Post Bag 9055, Gweru, Zimbabwe. Soil and Tillage Research. vol.76, p. 105-114, 2004.

HOTT, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S.; GRIFFITH, J. J. Análise fractal de textura usando um operador de Hurst em uma imagem TM/Landsat-5. Goiânia, GO. **Anais: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE, 2005, p. 4089-4093.

KARARA, H. M. et al. **Non-topographic photogrammetry**. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Virginia, 1989. 445 p.

KÖPPEN, W. **Climatologia com um estudio de los climas de La tierra**. México: Fonto de Cultura Econômica. 1948. 478p.

KUIPERS, H. **A relief meter for soil cultivation studies**. Neth. J. Agriculture Science, v. 5, p. 255-262. 1957.

LADO LIÑARES, M.; TABOADA CASTRO, M^a. M. ; DIEGUEZ VILLAR, A. **Relación entre índices de rugosidad: tortuosidad, pendiente límite, distancia límite y rugosidad aleatoria**. Cadernos do Laboratório Xeolóxico de Laxe, Facultad de Ciencias, Universidade da Coruña, La Coruña (Espanha), p.151-164,1998.

LANÇAS, K. P. Tráfego, tração e compactação: otimização e desafios. In.: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Gramado, RS, 2007. 43p.

LEVIEN, R.; GAMERO, C. A.; FURLANI, C. E. A. Preparo convencional e reduzido em solo argiloso em diferentes condições de cobertura de inverno. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.23, n.2, p.277-289, 2003.

LINO, A. C. L. **Técnica óptica de moiré visando à aplicação no estudo de superfícies irregulares**. 2002, 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002.

LIPTON, L. **Stereo Display – Two are better than one**. Photonics Spectra, New York, 1997. 115p.

LVCON. Disponível em :<<http://sin.unisantos.br/lvcon/tema?tema=6>> Acesso em: 20 de dezembro de 2007.

MACEDO, M.; OLIVEIRA, D.; ALBUQUERQUE, M. P.; LIMA, L. C. **Cálculo da Rugosidade: Método de BoxCounting**. Rio de Janeiro, RJ, UFRJ/CBPF, 2007.

MACHADO, R. L. T.; MACHADO, A. L. T.; TURATTI, A. L.; REIS, A. V. e ALONÇO, A. S. Avaliação do desempenho de escarificador em planossolo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, RS, v.2, n. 3, p.151-154, 1996.

MARCATO JUNIOR, J. ; MARQUES, A. P. S.; REINA, C. D.; KERPER, G. M.; ROCHA, F. S.; HASEGAWA, J. K.; DECANINI, M. M. S. e CHAVES, J. C. Atualização e geração de produtos cartográficos a partir de imagens obtidas com câmeras analógica e digital. Natal, RN. **ANAIS: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE, 2009, p. 1803-1810.

MARTINS, M. H. A.; CLARKE, R. T.; HAERTEL, V. **Emprego da dimensão fractal para separar classes de textura presentes numa aerofoto da cidade de Porto Alegre**. Boletim Paranaense de Geociências, n. 52, Editora UFPR. p. 7-18, 2003.

MATEUS, L. **Conservação, restauro e reabilitação – Metodologias de Levantamento**. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Faculdade de Arquitectura. 2008. 77 p.

MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um nitossolo háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG. vol.27, no.5, 2003.

MELLO, R. C. Alterações físicas em um Latossolo Roxo em função da velocidade de aração e do ângulo horizontal dos discos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v. 26, no. 1, p. 35-40, 2004.

MENESES, L. F. **Ortorretificação de fotografias aéreas de pequeno formato obtidas com câmera digital convencional**. CEFET - PB, João Pessoa, 2007. 77 p.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 1996. 722p.

MIRANDA, J. G. V. e GONZALEZ, A. P. **Influencia de las características iniciales de la superficie y la precipitación en la dimensión fractal del microrrelieve del suelo**. Cadernos do Laboratório Xeolóxico de Laxe, Facultad de Ciencias, Universidade da Coruña, La Coruña (Espanha), 1998. p.121-136.

MOITA, A. S. O. H. **Comportamento dinâmico de gotas incidentes em superfícies planas**. Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2004. 48p.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 6th Edition. John Wiley e Sons, Arizona State University, 2005, 643p.

MUCHERONI, M. L. e MATIAS, V. R. Análise de rugosidade de fungos através de dimensão fractal. Universidade Federal de São Carlos, Grupo de Arquitetura, Processamento de Imagens e Sinais. São Carlos, SP. **Anais: IX SIBGRAPI**. p. 351-352. 1996.

NUNES, A. e GAMA, M. T. **Fractais e a geometria da natureza: aplicação de fractais**. Centro de Física Teórica e Computacional. Lisboa, 2010. Disponível em: <<http://cftc.cii.fc.ul.pt/PRISMA/capitulos/capitulo2/modulo4/topico9.php>> Acesso em: 22/12/2009.

NUNES, A. e GAMA, M. T. **Prisma: à luz da física**. Centro de Física Teórica e Computacional, Universidade de Lisboa, Portugal, 2008.

OELZE, M. L.; SABATIER, J. M.; RASPET, R. Roughness measurements of soil surfaces by acoustic backscatter. **Soil Science Society of America Journal**. vol. 67: p. 241-250, 2003.

PAIXÃO, F. J. R. **Efeitos de diferentes fontes e níveis de matéria orgânica em algumas propriedades físico-hídricas do solo: uso da aproximação fractal**. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) 90fl. Campina Grande, PB, 2005.

PANIAGO, L. F. **Análise da fotorreflectância e rugosidade superficial a laser de blocos dentais bovinos submetidos a diferentes agentes clareadores**. 2006, 67f. Dissertação (Mestrado em Odontologia)-Departamento de Odontologia da Universidade de Taubaté, Taubaté, SP, 2006.

PÉREZ-GOMAR, E.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. **Resistência à penetração de vertissolo a diferentes Umidades e uso do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2002. 4p.

REIS, E. F. **Ambiente solo-semente em um latossolo vermelho-amarelo com diferentes mecanismos rompedores e compactadores de uma semeadora de plantio direto na cultura do milho**. 2003, 66f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

REIS, L. R. **Avaliação da rugosidade superficial do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto e análise de imagens**. 2009, 121f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

ROSA, D. P. **Comportamento dinâmico e mecânico do solo sob níveis diferenciados de escarificação e compactação**. 2007, 122f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

RUY, S.R.; TOMMASELLI, A.M.G.; GALO, M.; HASEGAWA, J.K.; MENOSSI, R. C. Fototriangulação com parâmetros adicionais para câmeras digitais: uma avaliação experimental. **Revista Boletim Ciência Geodésica**. Curitiba, PR, v. 14, n. 4, p.571-587, 2008.

RUY, R. S.; TOMMASELLI, A. M. G.; MARCATO JUNIOR, J.; REIS, T. T. Fototriangulação com parâmetros adicionais de um bloco de imagens coletadas com uma câmera digital de médio formato e dados de georreferenciamento direto. INPE, Natal, RN. **Anais: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto**. p. 1873-1880. 2009.

RUY, S.R.; TOMMASELLI, A.M.G.; REIS, T.T.; GALO, M.; HASEGAWA, J.K.; IMAI, N.N.; CAMARGO, P.O. Sistema aerotransportado leve de aquisição de imagens digitais – SAAPI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE, 2007. p. 1329-1335.

SACCO, I. C. N.; ALIBERT, S.; QUEIROZ, B. W. C; PRIPAS, D.; KIELING, I.; KIMURA, A. A.; SELLMER, A. E.; MALVESTIO, R. A. e SERA, M.T. Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para avaliação postural de membros inferiores. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, SP, v. 11, n. 5, p. 411-417, 2007.

SANTOS. J. E. G. **Equipamento conjugado de preparo do solo: desempenho em função da posição das hastas escarificadoras, do tipo de ponteira e da rotação do rotor**. 1993. 178 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1993.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR A. A. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, p. 427-436, 2000.

SCURI, A. E. **Fundamentos da Imagem Digital**. Tecgraf, Pontifícia Universidade Católica, PUC-Rio. 2002. 95p.

SILVA, A. C. e MENDONÇA, E. S. Modelo fractal de substâncias húmicas. **Revista Ciência Rural**. Santa Maria, RS, vol.31, no.5, 2001.

SILVA, A. B.; RESENDE, M.; SOUSA, A. R.; MARGOLIS, E. Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um regossolo no agreste pernambucano. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.34, n.2, p.299-307, 1999.

SILVA JÚNIOR, M. C. **Deteção do efeito da adubação nitrogenada em *Brachiaria Decumbens* utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. 2006, 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

SILVEIRA, J. M. C. **Impactos ambientais da irrigação do tomateiro no município de Estiva Gerbi/SP.** 2004, 171f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.

SOUZA CRUZ, T. G. **Leis de escala e dimensão fractal em filmes finos: microscopia de força atômica e voltametria cíclica.** Laboratório de Optoeletroquímica e Materiais, Campinas, SP, Revista Physicae 1, 2000. 8p.

TEMBA, P. **Fundamentos da fotogrametria.** Departamento de Cartografia, UFMG, Belo Horizonte, 2000. 26 p.

TRINDADE, E. F. S.; RODRIGUES, T. E.; CARVALHO, E. J. M.; CORRÊA, P. C. S. Matéria orgânica e atributos físicos de um argissolo amarelo distrófico no nordeste paraense. **Revista Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, PA, v. 5, n. 9, p. 187 a 198, 2009.

UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <<http://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xiiicongresso/paineis/019315.pdf>> Acesso em: 16 de novembro de 2007.

VAN LIER, Q. J. e ALBUQUERQUE, J. A. Novo método para calcular o diâmetro médio de agregados de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, n.21, p.699-705, 1997.

VÁZQUEZ, E. V. e GONZÁLEZ, A. P. **Consideraciones sobre la evaluación de la rugosidad y el cálculo de la retención de agua en microdepresiones.** Universidad Nacional Del Nordeste, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, La Coruña, Espanha, 2003a. 4p.

VÁZQUEZ, E. V. e GONZÁLEZ, A. P. **Evolución del microrrelieve de la superficie del suelo medido a diferentes escalas.** Estudios de la Zona No Saturada del Suelo, Vol. VI. Área de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Ciencias. Universidad de La Coruña, Campus de La Zapateira, La Coruña, Espanha, p. 203-208, 2003b.

VÁZQUEZ, E. V.; MIRANDA, J. G. V.; GONZÁLEZ, A. P. **Describing soil surface microrelief by crossover length and fractal dimension.** Nonlin. Processes Geophys., 14, 223–235, 2007.

VESTENA, L. R. e KOBIYAMA, M. **A geometria fractal da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner-SC.** Revista Árvore. Viçosa, MG, vol.34, n.4, 2010.

VOLK, L. B. S. **Condições físicas da camada superficial do solo resultantes do seu manejo e indicadores de qualidade para redução da erosão hídrica e do escoamento superficial.** 2006. 149 p. Tese(Doutorado em Ciência do solo) - Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2006.

VOLK, L. B. S. e COGO, N. P. Relações entre tamanho de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criada pelo preparo e tamanho de agregados em solo submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, vol.33, n.5, 2009.

WANGENHEIM, A. V.; LOPES, C.; PANTALEÃO, C. H. Z. **Algumas Técnicas de Análise de Imagens utilizando Fractais.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S. e NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, maio, 2005.

WOLF, P. R. **Elements of Photogrammetry.** McGraw-Hill Internacional Editions-Civil Engineering Series. 2. ed. Simgapure. 1983. 628 p.

ANEXOS

ANEXO A

CÓDIGO FONTE DO SOFTWARE MATLAB PARA BINARIZAR UMA IMAGEN DE ENTRADA E INICIA O PROCESSO DE BOX-COUNTING

```

        %A funcao 'boxcounting' binariza uma imagem de entrada
e divide a mesma em (2^n) quadrados.
        %Calcula a dimensao fractal
        %ImEntrada: caminho da imagem que se deseja calcular a
dimensao
        %fractal
        %Saida: Dimensao fractal da imagem
(RegDimension.dimensao)
        %      Imagem Original (RegDimension.original)
        %      Vetor com log(N(s)) (RegDimension.grafico1)
        %      Vetor com log(1/s) (RegDimension.grafico2)
        %
        %Chama a função "Contar" do mesmo arquivo
(boxcounting.m)
        %-----
-----
function [RegDimension] = BoxCounting(ImEntrada)
% Cabecalho

        fprintf('Fractal Dimension - Version
1.0\n');

        fprintf('Centro Brasileiro de Pesquisas
Fisicas - CBPF Brazil\n');

warning off;
        RegDimension = struct( 'dimensao', {0},...
                                'original', {0},...
                                'grafico1', {0},...
                                'grafico2', {0});

        %Le a imagem de entrada e binariza

        imagemAjust = ImEntrada;

```

```

RegDimension.original=imagemAjust;
tamanho=size(imagemAjust);
lower=tamanho(1);
upper=tamanho(2);

MatLogN=[];
[menorTam index]=min(tamanho);
maiorTam =max(tamanho);
N={};
maximo_divisao=log2(menorTam);
h = waitbar(0, 'Calculando...');

for n=1:maximo_divisao
    %Define o lado do quadrado (2^n)
    if (index==1)
        lado= lower/2^n;
    else
        lado= upper/2^n;
    end

    intUpper = floor(upper/lado);
    intLower = floor(lower/lado);
    for i=0:(intUpper-1)
        for j=0:(intLower-1)
            if (i==0 && j==0)
                Cont =
Contar(imagemAjust, lado*i, lado*(i+1), lado*j, lado*(j+1));

                N{n} = Cont.number;
                w=ceil(maiorTam/lado);

MatLogN(n)=log(ceil(maiorTam/lado));
            else
                Cont =
Contar(imagemAjust, lado*i, lado*(i+1), lado*j, lado*(j+1));

                N{n} = N{n}+Cont.number;
                % Caso existam sobras na
imagem
                if ((lado*(i+1)<upper) &&
(lado*(i+2)>upper))
                    Cont =
Contar(imagemAjust, lado*(i+1), upper, lado*j, lado*(j+1));
                    N{n} = N{n}+Cont.number;
                end
                if ((lado*(j+1)<lower) &&
(lado*(j+2)>lower))
                    Cont =
Contar(imagemAjust, lado*(i), lado*(i+1), lado*(j+1), lower);
                    N{n} = N{n}+Cont.number;

```

```

                                end
                                end
                                end

                                end
                                waitbar(n/maximo_divisao);
                                end
                                close(h);

MatLog=log(cell2mat(N));

Soma=0;
SomaN=0;
MediaN=0;
n_interval=0;

% media de todos os cálculos possíveis do coeficiente
angular da reta log/log
for j=1:(n-1)
    for i=j+1:n
        Soma=(MatLog(i)-MatLog(j));
        SomaN=(MatLogN(i)-MatLogN(j));
        d=Soma/SomaN;
        if ~(d== -Inf)
            MediaN= MediaN+(Soma/SomaN);
            n_interval=n_interval+1;
        end
    end
end

Dimensao=MediaN/n_interval;
Dimensao
RegDimension.dimensao = Dimensao;
RegDimension.grafico1 = MatLog;
RegDimension.grafico2 = MatLogN;

%clear MatLogN;clear Dimensao;clear MediaN;clear
n_interval;clear MatLog;
%clear Soma;clear SomaN;
%clear Cont;clear N;clear maximo_divisao;
%clear ImagemEntradaPrim;clear imagem;clear
ImagemConvert;clear imagemAjust;

```


ANEXO B

CÓDIGO FONTE DO SOFTWARE MATLAB PARA OBTENÇÃO DA DIMENSÃO FRACTAL

```

    %A função 'Contar' calcula se existe pixel aceso na
    área da imagem que eh
    %fornecida através de quatro parâmetros.
    %Entrada: imagemEntrada - imagem original.
    %         lowerW         - coordenada horizontal inicial
    %         upperW         - coordenada horizontal final
    %         lowerH         - coordenada vertical inicial
    %         upperH         - coordenada vertical final
    %Saida:   Contagem.number- resposta para existência de
    pixel aceso na área fornecida.
    %                                     0- não existe pixel aceso
    %                                     1- existe pixel aceso
    %-----
    -----
    function [Contagem] =
    Contar(imagemEntrada, lowerW, upperW, lowerH, upperH)
    warning off;
    Contagem = struct( 'number', {0});
    contador=0;

    for i=lowerW+1:upperW
        for j=lowerH+1:upperH
            i=int16(i);
            j=int16(j);
            if (imagemEntrada(j,i)~=1)

                contador=1;
                i=upperW+1;
                break;
            end
        end
    end

    Contagem.number=contador;

```