

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA CLASSIFICAÇÃO DE
TERRAS PARA IRRIGAÇÃO, EM PARDINHO-SP**

LUCIANA CORPAS BUCENE

Dissertação apresentada à Faculdade
de Ciências Agronômicas da UNESP
– Campus de Botucatu, para obtenção
do título de Mestre em Agronomia –
Área de Concentração em Irrigação e
Drenagem.

BOTUCATU –SP
Fevereiro - 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA CLASSIFICAÇÃO DE
TERRAS PARA IRRIGAÇÃO, EM PARDINHO-SP**

LUCIANA CORPAS BUCENE

Orientadora: **Célia Regina Lopes Zimback**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU –SP
Fevereiro - 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA CLASSIFICAÇÃO DE
TERRAS PARA IRRIGAÇÃO, EM PARDINHO-SP”.**

ALUNA: LUCIANA CORPAS BUCENE

ORIENTADORA: PROFA. DRA. CELIA REGINA LOPES ZIMBACK

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROFA. DRA. CELIA REGINA LOPES ZIMBACK



DRA. ELIZABETH FERREIRA VILELA



PROF. DR. AFONSO MARIA DE CARVALHO

Data da Realização: 18 de fevereiro de 2002.

A DEUS,

por me dar a oportunidade, me mostrar o caminho e eu saber abraçar,
por me iluminar,
por estar presente dentro de mim em todos os momentos da minha vida.

AOS MEUS PAIS,

a vocês, pais por natureza, por opção e amor, que não foram apenas pais,
mas amigos e companheiros, mesmo nas horas em que meus ideais pareciam distantes e
inatingíveis e o estudo um fardo pesado demais. E, sobretudo, obrigado pela lição de amor que
me ensinaram durante toda vida.

AO MEU NAMORADO, Constantino, grande amor da minha vida,

pela compreensão e apoio nos momentos difíceis,
pelo prazer, diversão, nos momentos alegres,
pelo carinho, dedicação e, principalmente por acreditar na minha
escolha profissional.

DEDICO

As minhas IRMÃS E CUNHADO

Andréa, Fabiana e Hugo
pelo apoio e estímulo;

A minha SOBRINHA

Lilian Corpas Bucene Oliveira
por fazer parte da minha vida;

Aos meus familiares, em especial a minha TIA Querida

Ascensão Corpas Metzker, pelas visitas e trazer alegria em minha casa;

A minha AMIGA e COMPANHEIRA

Alessandra Fabíola Bergamasco, pela amizade e por ser tão especial;

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

O desenvolvimento deste trabalho só foi possível ser realizado devido aos esforços e colaboração de várias pessoas e instituições, que me ajudaram, às quais agradeço eternamente.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio técnico e financeiro e, assim dar condições da realização deste estudo;

À Faculdade de Ciências Agrônômicas – Campus de Botucatu – UNESP, por dar a oportunidade de me enriquecer nos conhecimentos adquiridos;

Ao Curso de Pós-Graduação “Irrigação e Drenagem”, pelo apoio durante o curso;

À Professora Doutora, Célia Regina Lopes Zimback, orientadora e amiga, por me mostrar o caminho do conhecimento, oferecer possibilidades de crescimento e direcionar a um caminho promissor;

Ao Centro de Análise e Planejamento Ambiental - CEAPLA – Campus de Rio Claro - UNESP, em especial ao Professor Doutor José Flávio Moraes Castro e ao técnico Sérgio Luis Antonello;

À Casa da Agricultura de Pardinho–SP, em especial ao Eng. Agrônomo Cláudio Vivan Pinto e ao funcionário Marcelo Ebúrneo, pelo apoio técnico no trabalho de campo;

À Geógrafa Dra. Lígia B. Simões pela atenção atribuída ao desenvolvimento de alguns tópicos na dissertação e pela amizade construída;

A todos os amigos do Grupo de Estudos e Pesquisas em Ciências Agrárias Georreferenciadas (GEPAG), Ivana, Rodrigo Manzione, Robson, Débora, Saulo, Letícia, João, em especial ao João Batista, Juliana, Edson Pirolli e Caetano pelas orientações no uso do Software IDRISI e no Software Adobe, pela sabedoria fornecida e auxílio nas tarefas sem os quais não conduziria este trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XI
1- RESUMO.....	01
2- SUMMARY.....	03
3- INTRODUÇÃO.....	05
4- REVISÃO DE LITERATURA.....	07
4.1- Microbacias Hidrográficas.....	08
4.2- Variabilidade Espacial.....	10
4.3- Geoprocessamento.....	20
4.3.1- Sistema de Informação Geográfica.....	22
4.3.2- Sistema de Informação Geográfica – IDRISI.....	27
4.4- Classificação de Terras para Irrigação.....	30
5- MATERIAL E MÉTODOS.....	39
5.1- Caracterização Ambiental.....	39
5.2- Material.....	41
5.2.1 – Material Cartográfico.....	41
5.2.2 – Mapa de Solos.....	42
5.2.3 – Equipamentos.....	43
5.2.4 – Programas utilizados.....	43

5.3- Métodos.....	44
5.3.1- Origem e obtenção dos dados.....	44
5.3.2- Análises exploratória dos dados.....	48
5.3.3- Análise geoestatística dos dados.....	49
5.3.4- Interpolação dos dados Krigagem Ordinária.....	50
5.3.5- Modelo Numérico do Terreno (MNT).....	52
5.3.6 – Limitando a área de estudo.....	52
5.3.7 – Classificando os atributos do solo.....	53
5.3.8- Classificação de terras para fins de irrigação.....	53
5.3.8.1- Classe de Terra.....	53
5.3.8.2- Subclasses e Subscritos Básicos.....	54
5.3.8.3- Deficiências.....	55
5.3.8.4- Grau de deficiências.....	56
5.3.8.4.1- Topografia.....	56
5.3.8.4.2- Drenagem.....	59
5.3.8.4.3- Solo.....	61
5.3.8.5- Uso Atual da terra.....	71
5.3.8.6- Produtividade.....	74
5.3.8.7- Custo de desenvolvimento da terra.....	77
5.3.8.8- Necessidade de água.....	83
5.3.8.9- Drenabilidade.....	85
5.3.8.10- Tabelas de julgamento.....	88
5.3.8.11- Obtendo o mapa de classificação de terras para irrigação..	92

6- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
6.1- Distribuição de frequência dos dados.....	93
6.2- Análise geoestatística.....	94
6.2.1- Modelo do semivariograma.....	94
6.2.2- Análise do efeito pepita.....	101
6.2.3- Análise do alcance.....	104
6.2.4- Interpolação dos dados.....	105
6.3 – Obtenção do Modelo Numérico de Terreno (MNT).....	106
6.4 - Classificando os parâmetros dos atributos do solo.....	116
6.5 - Classificando terras para irrigação.....	150
6.6 – Mapa de terras para irrigação.....	162
7- CONCLUSÃO.....	163
8- REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	164
9- APÊNDICE.....	177

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1. Relação de cartas planialtimétricas na escala de 1:10.000/IGC.....	41
2. Quadro de julgamento de água disponível superficial e subsuperficial...	64
3. Quadro de julgamento de infiltração superficial e subsuperficial.....	66
4. Quadro de julgamento de permeabilidade superficial e subsuperficial....	67
5. Níveis de produtividade para classificação de terras para irrigação.....	75
6. Resumo de renda e das despesas para se calcular o orçamento parcelar.	79
7. Especificações econômicas da terra.....	80
8. Limites para classificar necessidade de água.....	82
9. Quadro de julgamento de K_0 superficial e subsuperficial.....	83
10. Limites para classificar drenabilidade.....	84
11. Quadro de julgamento de macroporosidade superficial e subsuperficial.	85
12. Quadro de julgamento das especificações dos problemas de topografia.	88
13. Quadro de julgamento das especificações dos problemas de drenagem..	89
14. Quadro de julgamento sobre as especificações dos problemas de solos..	90
15. Parâmetros dos semivariogramas dos atributos de solos analisados.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Gráfico do semivariograma experimental, $\gamma(h)$ versus h	15
2. Sistemas que integram um SIG.....	25
3. Fórmula básica para classificação de terras para irrigação.....	36
4. Localização do Rio Pardo no Estado de São Paulo.....	40
5. Mapa de solos com os pontos amostrados das trincheiras.....	42
6. Curvas de nível vetorizada pelo software AutoCAD 2000.....	47
7. Rede de drenagem e limite, vetorizado pelo software AutoCAD 2000.....	48
8. Imagem de satélite Landsat 5 /TM, com localização da área.....	73
9. Semivariograma experimental e teórico para o pH no solo.....	94
10. Semivariograma experimental e teórico para o CTC no solo.....	94
11. Semivariograma experimental e teórico para o V% no solo.....	94
12. Semivariograma experimental e teórico para o Mg no solo.....	95
13. Semivariograma experimental e teórico para o K no solo.....	95
14. Semivariograma experimental e teórico para o P no solo.....	95
15. Semivariograma experimental e teórico para o Al no solo.....	96
16. Semivariograma experimental e teórico para o Ca no solo.....	96
17. Semivariograma experimental e teórico para a K_0 superficial.....	96
18. Semivariograma experimental e teórico para a K_0 subsuperficial.....	97
19. Semivariograma experimental e teórico para o Ad superficial.....	97
20. Semivariograma experimental e teórico para o Ad subsuperficial.....	97

21. Semivariograma experimental e teórico para a Argila superficial.....	98
22. Semivariograma experimental e teórico para a Argila subsuperficial.....	98
23. Semivariograma exp. e teórico para a Macroporosidade superficial.....	98
24. Semivariograma exp. e teórico para a Macroporosidade subsuperficial.....	99
25. Semivariograma experimental e teórico para a altimetria no solo.....	99
26. MNT de pH no solo, através da krigagem.....	105
27. MNT de P no solo, através da krigagem.....	106
28. MNT de K no solo, através da krigagem.....	106
29. MNT de Mg no solo, através da krigagem.....	107
30. MNT de Al no solo, através da krigagem.....	107
31. MNT de V% no solo, através da krigagem.....	108
32. MNT de K_0 superficial no solo, através da krigagem.....	108
33. MNT de K_0 subsuperficial no solo, através da krigagem.....	109
34. MNT de Macroporosidade superficial no solo, através da krigagem.....	109
35. MNT de Macroporosidade subsuperficial no solo, através da krigagem.....	110
36. MNT de Argila superficial no solo, através da krigagem.....	110
37. MNT de Argila subsuperficial no solo, através da krigagem.....	111
38. MNT de Água disponível superficial no solo, através da krigagem.....	111
39. MNT de Água disponível subsuperficial no solo, através da krigagem.....	112
40. MNT de Altimetria no solo, através da krigagem.....	112
41. MNT de CTC no solo, através do interpolador Interpol.....	113
42. MNT de Ca no solo, através do interpolador Interpol.....	113
43. Mapa do grau de deficiência por declividade.....	115

44. Mapa do grau de deficiência por nivelamento.....	116
45. Mapa do grau de deficiência por rochosidade.....	117
46. Mapa do grau de deficiência por cobertura vegetal.....	118
47. Mapa do grau de deficiência por inundação.....	119
48. Mapa do grau de deficiência do lençol freático.....	120
49. Mapa do grau de deficiência por escoamento.....	121
50. Mapa do grau de deficiência por profundidade efetiva.....	122
51. Mapa do grau de deficiência por textura.....	123
52. Mapa do grau de deficiência por erodibilidade.....	124
53. Mapa do grau de deficiência por água disponível.....	125
54. Mapa do grau de deficiência por infiltração.....	126
55. Mapa do grau de deficiência por permeabilidade.....	127
56. Mapa do grau de deficiência por pedregosidade.....	128
57. Mapa do grau de deficiência por fertilidade.....	129
58. Mapa do uso atual da terra, com todas as culturas existentes na área.....	130
59. Mapa de pH.....	131
60. Mapa de CTC.....	132
61. Mapa de V ⁺ %.....	133
62. Mapa de P.....	134
63. Mapa de Mg.....	135
64. Mapa de K.....	136
65. Mapa de Ca.....	137
66. Mapa de Al.....	138

67. Mapa de Água disponível.....	139
68. Mapa de Condutividade hidráulica.....	140
69. Mapa de Solos.....	141
70. Mapa de Forma do relevo.....	142
71. Mapa de Declividade.....	143
72. Mapa de Permeabilidade.....	144
73. Mapa de Condutividade hidráulica.....	145
74. Mapa de Macroporosidade.....	146
75. Mapa de Profundidade do lençol freático, avaliando o fator drenabilidade..	147
76. Mapa de Uso atual da terra, para classificar terras para irrigação.....	148
77. Mapa de Uso atual da terra.....	149
78. Mapa de Produtividade Aparente.....	150
79. Mapa de Custo de desenvolvimento da terra.....	151
80. Mapa de Necessidade de água.....	152
81. Mapa de Drenabilidade.....	153
82. Mapa de Deficiências de topografia.....	154
83. Mapa de Deficiências de solo.....	155
84. Mapa de Deficiências de drenagem.....	156
85. Mapa das avaliações informativas.....	157
86. Mapa de deficiências da área de estudo.....	158
87. Mapa de classificação de terras para irrigação da área de estudo.....	160

1- RESUMO

A realidade brasileira mostra um quadro adverso com relação à ocupação do solo e com conseqüências diretas sobre os corpos d'água. As águas superficiais e subterrâneas já vêm sinalizando a desorganização territorial e a falta de planejamento da ocupação do solo. Sendo assim o uso adequado da terra é o primeiro passo em direção à agricultura sustentável. Para isso, deve-se empregar cada parcela de terra de acordo com a sua capacidade de sustentação e produtividade econômica, de forma que os recursos naturais sejam colocados à disposição do homem, para seu melhor uso e benefício, procurando, ao mesmo tempo, preservar estes recursos para gerações futuras.

Neste sentido, considerando-se a necessidade de um planejamento da ocupação do solo, este trabalho teve como objetivo classificar terras para irrigação da parte inicial da Microbacia do Rio Pardo – SP, a fim de obter o mapa interpretativo da área, utilizando-se do Sistema de Informação Geográfica (SIG) IDRISI 32.

O sistema de classificação de terras para irrigação mais difundido no mundo é o sistema do “U.S. Bureau of Reclamation”. Neste sistema, a classe de terra é definida como uma categoria de terras tendo atributos físicos, químicos e econômicos similares, os quais afetam a adaptabilidade da terra para irrigação. O sistema tem seis classes, sendo normalmente reconhecidas quatro classes aráveis, de acordo com a sua aptidão para agricultura irrigada, uma classe provisória e uma última classe de terras não aráveis. O presente trabalho foi desenvolvido com base na metodologia desse sistema.

De acordo com os resultados obtidos na pesquisa conclui-se: a) a área foi classificada, para fins de irrigação, na Classe 4, com 6.000 ha, 95 % da área total e na Classe 5, 320 ha, 5 % do restante da área; b) a Classe 4 apresentou deficiências de topografia, como declividade e rochosidade, e deficiências de solo, como profundidade efetiva, pedregosidade, permeabilidade e fertilidade, todas com grau de deficiência nível 4; c) a Classe 5 apresentou deficiências de solo, como erodibilidade e infiltração, com grau de deficiência nível 5; d) a parte inicial da microbacia do Rio Pardo apresentou baixa produtividade em 4.764 ha, 75 % da área, e muito baixa produtividade em 1.556 ha, representando 25 % da área; e) em relação ao custo de desenvolvimento da terra, a área apresentou as Classes 1, 2 e 3; f) toda a área estudada apresentou baixa necessidade de água; g) apresentou 3.902 ha com restrita drenabilidade e 2.418 ha com pobre drenabilidade; h) o SIG IDRISI32 apresentou suficientes condições ao desenvolvimento do trabalho, sendo eficiente na determinação da classificação de terras para irrigação na área estudada.

GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM IN THE CLASSIFICATION OF LANDS FOR IRRIGATION, IN BOTUCATU-SP. Botucatu, 2002. 182p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: LUCIANA CORPAS BUCENE

Adviser: CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

2- SUMMARY

The Brazilian reality shows an adverse picture with relation to the occupation of the soil and with direct consequences on the bodies of water. The superficial and underground waters already come signalling the territorial disorganization and the lack of planning of the occupation of the soil. Being the adapted use of the land is the first step in direction to the maintainable agriculture. For that, each land portion should be used in agreement with its supportation capacity and economic productivity so that the natural resources they are placed available to the man for its best use and benefit trying at the same time to preserve these resources for future generation.

In this sense, sells the need of a planning of the occupation of the soil, this work had as objective to classify lands for irrigation of the initial part of the watershed of Pardo river - SP, in order to obtain the interpretative map of the area, being used of the Geographical Information System (GIS) IDRISI 32.

The system of classification of lands for irrigation more diffused in the world it is the system of " U.S. Bureau of Reclamation ". In this system the land class is defined as a category of lands had similar physical and economic attributes, which affect the adaptability of the land for irrigation. The system has six classes, being recognized four classes you usually plowed, in agreement with its aptitude for irrigated agriculture, a class provisory and a last class of lands didn't plow. The present work was developed based on the methodology of that system.

In agreement with the results obtained in the research it reached the following conclusions: a) the area was classified, for irrigation ends, in the Class 4, with 6.000 ha, 95% of the total area and in the Class 5, 320 ha, 5% of the remaining of the area; b) the Class 4 presented topography deficiencies, as slope and rocky, and soil deficiencies, as effective depth, stony, permeable and fertility, everybody with degree of deficiency level 4; c) the Class 5 presented soil deficiencies, as erodibility and infiltration, with degree of deficiency level 5; d) the initial part of the watershed of Pardo river presents low productivity in 4.764 ha, 75% of the area, and very low productivity in 1.556 ha, representing 25% of the area; e) in relation to the cost of development of the land, the area presents the Classes 1, 2 and 3; f) the whole studied area presents low need of water; g) it presents 3.902 ha with restricted drain and 2.418 ha with poor drain; h) SIG IDRISI32 presented enough conditions to the development of the work, being efficient in the determination of the classification of lands for irrigation in the area analyzed.

Keuwords: GIS, land use, geoprocessing, soil mapping.

3- INTRODUÇÃO

Uma metodologia para o diagnóstico da situação real em que se encontram os recursos naturais em dado espaço geográfico, passa a ser um instrumento necessário em um trabalho de preservação. Dentre as unidades fisiográficas para diagnosticar o grau de deterioração do meio ambiente, destacam-se as Microbacias Hidrográficas.

Caracterizar o solo quanto ao seu potencial agrícola é relevante para o desenvolvimento de uma agricultura racional e adequada às condições ambientais de uma determinada região. Tal caracterização deve ser colocada à disposição dos usuários, em forma de mapa, para auxiliar no planejamento da produção agrícola. Entretanto, o êxito desse processo, que se inicia com a disponibilidade da informação de solos e finaliza com a formulação de decisões, depende de um nível mínimo de confiabilidade dos mapeamentos para garantir a qualidade dos dados apresentados e a conseqüente minimização de erros de planejamento.

Para se executar o monitoramento agrícola de uma região é necessário o mapeamento das áreas em estudo, o qual se constitui instrumento imprescindível para representar as diferentes informações temáticas, as potencialidades naturais relativas ao meio físico e o uso atual do solo.

Diante do exposto, o presente estudo propõe a elaboração de um diagnóstico de uma Microbacia, apoiado nas técnicas de geoprocessamento, que irá contribuir para a caracterização fisiográfica de determinada região, bem como irá de encontro às necessidades municipais de se ter um acervo de informações ambientais, que possam viabilizar o uso mais planejado e adequado dos recursos naturais.

Neste sentido, com o processamento digital dos mapas-base em Sistema de Informação Geográfica, da parte inicial da microbacia do Rio Pardo em Botucatu - SP, o presente trabalho teve por objetivo, elaborar o mapa interpretativo da classificação de terras para irrigação.

4- REVISÃO DE LITERATURA

O Rio Pardo tem sua nascente na Serra de Botucatu, no município de Pardinho, percorrendo grande extensão até sua foz, no Rio Paranapanema, próximo a cidade de Salto Grande - SP. Nesse percurso é o responsável pelo abastecimento de água de vários centros urbanos e as terras que o margeiam são as mais férteis de toda a região .

Com o aumento populacional, industrial e agrícola, é de vital importância que esses cursos d'água, responsáveis pelo abastecimento de grande área do centro-oeste paulista, consiga suprir as quantidades de água suficientes para suportar maiores demandas futuras e suas terras sejam classificadas de acordo com a capacidade de serem irrigadas.

Torna-se necessário no planejamento rural, o levantamento das características dos solos envolvidas no mecanismo de retenção e movimentação de água, de modo que, possa ser avaliado e previsto o fluxo de água na Bacia, visando técnicas e manejos que promovam a maior permeabilidade dos solos e o maior retorno econômico.

Os levantamentos técnicos das terras, até agora existentes na região, não contemplam a classificação das terras para a irrigação, sendo que o sucesso dos projetos de utilização do solo e da água está condicionado à precisão com que os parâmetros edáficos são determinados, classificados e representados gráfica e digitalmente (Zimback, 1997).

Na classificação de terras para irrigação, três etapas distintas necessitam de consideração: a coleta e determinação de parâmetros pertinentes a classificação das terras na microbacia; a elaboração de mapas-base com o emprego de técnicas de geoestatística para a interpolação de dados e confecção de mapas; e a elaboração de tabelas de julgamentos adaptadas ao local ou região analisada, e posterior processamento dos dados em SIG com a confecção das representações cartográficas.

4.1- Microbacias Hidrográficas

A degradação desenfreada dos recursos naturais nos dias de hoje é um processo que deve ser analisado com eficiência e rapidez. Os solos, por exemplo, vêm sofrendo uma constante e crescente degradação, em função da preservação e usos inadequados.

Nesse sentido, uma metodologia para o diagnóstico da situação real em que se encontram esses recursos em dado espaço geográfico, passa a ser um instrumento necessário em um trabalho de preservação. Dentre as metodologias para diagnosticar o grau de deterioração do meio ambiente destacam-se as técnicas de manejo das Microbacias Hidrográficas.

Bacia Hidrográfica é a área que drena as águas de chuvas por ravinas, canais e tributários, para um curso principal, com vazão efluente convergindo para uma única saída e desaguando diretamente no mar ou em um grande lago. O conceito de Microbacia Hidrográfica é o mesmo de Bacia Hidrográfica, acrescido de que deságüe se dá em outro rio. As Microbacias Hidrográficas têm dimensões superficiais menor que 20.000ha (Rocha, 1997).

A Microbacia Hidrográfica faz parte de um ecossistema agrícola, de fácil controle, conhecido e facilmente monitorável em todos os seus aspectos, constituindo um campo ideal para estudos do comportamento dos solos frente ao uso e manejo (Freitas, 1996; Kler, 1996).

Uma Microbacia Hidrográfica compreende uma área de formação natural, drenada por um curso d'água e seus afluentes a montante de uma seção transversal considerada para onde converge toda a água da área considerada. (Brasil, 1987, citado por Freitas, 1996; Kler, 1996).

Trabalhos de pesquisa em Microbacias Hidrográficas têm sido desenvolvidos desde o início do século. O manejo integrado da Bacia Hidrográfica é uma proposta educativa e corretiva para recuperar o meio ambiente deteriorado, sugerindo as melhores alternativas para a proteção e preservação da natureza, melhorando substancialmente a qualidade de vida do homem e da sociedade, permitindo o uso científico contínuo dos recursos naturais. (Rocha, 1997).

O manejo é o único caminho a ser seguido para a recuperação ambiental conduzindo ao equilíbrio do ecossistema. O manejo integrado consiste na elaboração e aplicação de diagnósticos básicos, os quais levantam todos os problemas da

Microbacia, analisam os conflitos, e indicam as soluções em todos os níveis, integrando conclusões e recomendações total do meio ambiente. (Rocha, 1991).

4.2- Variabilidade Espacial

Em uma paisagem natural, em especial as microbacias, os solos apresentam uma ampla variabilidade dos seus atributos, das propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, tanto na vertical como horizontalmente, resultante da interação dos processos que comandam os fatores de sua formação. Além disso, o solo cultivado possui fontes adicionais de heterogeneidade, originadas exclusivamente do efeito antrópico da agricultura. A heterogeneidade é uma propriedade inerente do solo que tipifica sua anisotropia (Beckett & Webster, 1971, citado por Takeda, 2000). Assim, tem-se que o uso do solo, com o passar do tempo, causa-lhe acentuada heterogeneidade.

Quando uma determinada propriedade varia de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, expresso através de dependência espacial, a estatística clássica deve dar lugar a uma estatística relativamente nova: a geoestatística.

Dependência espacial (autocorrelação espacial) é a característica decorrente do fato de que amostras espacialmente próximas são comumente mais semelhantes umas às outras do que amostras mais distantes (Matos, 2000).

Por estatística clássica entende-se aquela que se utiliza de parâmetros como média e desvio padrão para representar um fenômeno, e baseia-se na hipótese principal de que as variações de um local para outro são aleatórios e com distribuição normal. A

geoestatística se refere a procedimentos que analisam e modelam relações espaciais de um dado fenômeno usando a variação espacial (direção e distância entre as amostras) para determinar o grau de associação e dependência de dados espacialmente relacionados (Robertson, 1987; Legendre e Fortin, 1989, citado por Matos, 2000). Desse modo, estes dois ramos da estatística têm validade de aplicação em condições perfeitamente distintas. Para se determinar qual das duas deve ser usada, é utilizado o semivariograma, o qual expressa a dependência espacial entre as amostras (Vieira, 2000). Vários estudos têm relatado que os atributos do solo apresentam intensa dependência espacial, necessitando, portanto, de uma análise geoestatística (Warrick et al., 1986, citado por Takeda, 2000).

A preocupação com a variabilidade espacial de atributos do solo pode ser encontrada já em trabalhos da primeira metade do século (Takeda, 2000). São muitas as circunstâncias em que se torna importante conhecer a variabilidade do solo, principalmente em levantamentos e classificação de solos. Alguns autores utilizaram a geoestatística para o estudo da variabilidade, dependência, continuidade espacial e representação das propriedades químicas e físicas dos solos, como: Vieira et al. (1992), Kirda et al. (1988), Reichardt et al. (1993), Van Es & Van Es (1993) e Shouse et al. (1995).

Outros autores estudaram o mapeamento de características específicas, bem com a variabilidade e dependência espacial dos solos, como: medidas de umidade e temperatura superficiais do solo (Davidoff & Selim, 1988); densidade e condutividade hidráulica dos solos (Ciollaro & Romano, 1995; Rogowski & Wolf, 1994 e Gupta et al., 1995); retenção de água (Mallants et al., 1996); propriedades químicas e físicas dos solos (Ribeiro Jr., 1995) e resistência à penetração (Moolman & Van Huysstem, 1989 e Ley & Laryea, 1994).

A presença de dependência espacial, que requer o uso da geoestatística, surgiu na África do Sul, quando Krige em 1951, trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentido nas variâncias, se não levasse em conta a distância entre as amostras (Vieira, 2000). Matheron, 1971, citado por Vieira, 2000, baseado nestas observações, desenvolveu uma teoria, a qual ele chamou de Teoria das Variáveis Regionalizadas que contém os fundamentos da geoestatística. O autor define Variável Regionalizada como uma função espacial numérica, que varia de um local para outro com uma continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples. Essa continuidade ou dependência espacial pode ser estimada através do semivariograma. A Teoria da Variável Regionalizada, é uma ferramenta para auxiliar na descrição e representação de variáveis contínuas de atributos dos solos e paisagens onde os valores de um atributo estão, em alguma forma, relacionados com a sua distribuição espacial. Portanto, observações tomadas a curtas distâncias devem ser mais semelhantes em magnitude do que aquelas mais distantes. Primeiramente, a teoria foi utilizada para estudar uma única variável, posteriormente métodos geoestatísticos foram desenvolvidos para múltiplas variáveis e para quantificar variáveis correlacionadas, não conhecidas ou de difícil determinação (Stein et. al., 1988 e Mcbratney et al., 1991). No Brasil, o emprego de amostragem regionalizada e de métodos geoestatísticos para solos ainda é incipiente e muito pouco disseminado em comparação aos métodos convencionais de análises estatísticas.

A análise de dados, até o início dos anos 60, era feita sob a hipótese de independência estatística ou distribuição espacial aleatória, para permitir o uso de métodos estatísticos como análise de variância e parâmetros como o coeficiente de variação. Entretanto, este tipo de hipótese não pode simplesmente ser feito antes que se prove a não existência de

correlação de amostras com a distância. Se provada a correlação espacial, a hipótese de independência fracassa. Um dos métodos mais antigos de se estimar a dependência no espaço ou no tempo, de amostras vizinhas é através da autocorrelação.

A geoestatística é uma técnica para determinação quantitativa das distribuições espaciais que mantém a integridade espacial das amostras e analisa o grau de dependência (autocorrelação) baseada na direção e na distância de separação entre as amostras (Matos, 2000).

Alguns métodos estimadores geoestatístico da autocorrelação espacial são usados como ferramentas de continuidade espacial, como: o variograma ou semivariograma, o covariograma e o correlograma. Essas ferramentas são usadas para investigar a magnitude da correlação entre as amostras, sua similaridade ou não, com a distância. A definição teórica dessas ferramentas é baseada na Teoria da função aleatória (Journel & Huijbregts, 1978; Isaaks & Srivastava, 1989 e Braga, 1990), que apresenta a estimativa experimental dessas estatísticas. O semivariograma resume a continuidade espacial para todos os pareamentos (comparação de dois valores) e para todas as distâncias h significativas.

O semivariograma é definido, segundo Isaaks & Srivastava (1989), pela expressão:

$$\gamma(h) = 1/2 \sum \{Z(x) - Z(x+h)\}^2 \quad (01)$$

e pode ser estimado através de:

$$\gamma^*(h) = 1/2N(h) \sum \{Z(x) - Z(x+h)\}^2 \quad (02)$$

onde: $\gamma^*(h)$ é o valor do semivariograma estimado para a distância h ;

$Z(x)$ – valor medido;

x - é a medida de posição;

h - é a distância entre medições.

O gráfico de $\gamma^*(h)$ versus os valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h , e portanto depende de ambos, magnitude e direção h . Quando o gráfico do semivariograma é idêntico para qualquer direção de h ele é chamado isotrópico e representa uma situação bem mais simples do que quando é anisotrópico. Neste último caso, o semivariograma deve sofrer transformações antes de ser usado. É importante notar que, a maioria das variáveis de ciência do solo poderá ter um comportamento anisotrópico (Vieira, 2000), isto é, mudar de maneira diferente para direções diferentes.

O gráfico do semivariograma experimental, $\gamma(h)$ versus h , mostrado na Figura 01, calculado usando a equação 02, mostra uma série de pontos discretos de $\gamma(h)$ correspondendo a cada valor de h , e para o qual uma função contínua deve ser ajustada. Delhomme, 1976, citado por Vieira (2000), discutiu vários modelos de ajuste aplicáveis a diferentes fenômenos.

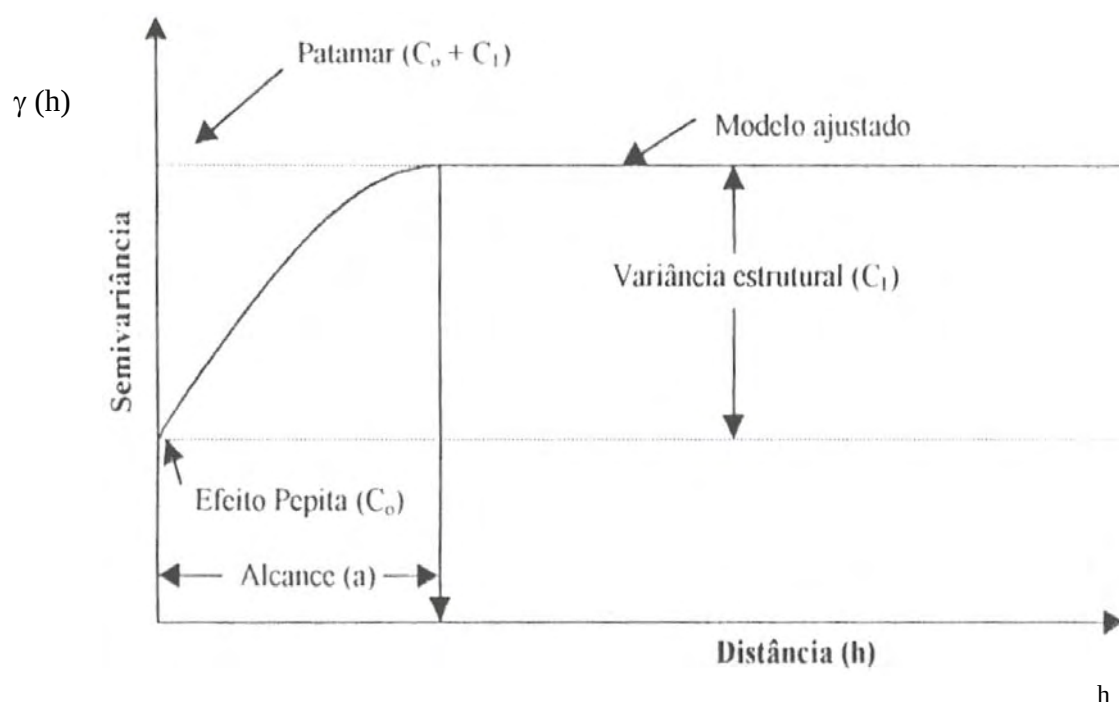


Figura 01: Gráfico do semivariograma experimental, $\gamma(h)$ versus h .

Um semivariograma experimental é a representação gráfica da semivariância amostral das diferenças dos pares em função da distância entre os pontos amostrais. A forma do gráfico revela o grau de associação ou dependência de dados espacialmente relacionados para cada uma das distâncias entre os pares amostrais (Matos, 2000). Seu comportamento representa o que, intuitivamente, se deve esperar de dados de campo. É de se esperar que as diferenças $\{Z(x) - Z(x+h)\}$ decresçam assim que h , a distância que os separa, decresça. É esperado que medições localizadas próximas sejam mais parecidas entre si do que aquelas separadas por grandes distâncias. Desta maneira, é de se esperar que $\gamma(h)$ aumente com a distância h . Por definição, $\gamma(0)=0$, como pode ser visto pela equação 02, quando $h=0$. Entretanto, na prática, à medida que h tende para 0 (zero), $\gamma(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado efeito pepita (“nugget effect”) e que recebe o símbolo C_0 (Vieira, 2000), representando os erros embutidos nos dados experimentais.

A medida que h aumenta, $\gamma(h)$ também aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza. Este valor no qual $\gamma(h)$ se estabiliza chama-se patamar (“sill”), e é aproximadamente igual à variância dos dados. A distância na qual $\gamma(h)$ atinge o patamar é chamada de alcance (“range”), recebe a denominação de “a”, e é a distância limite de dependência espacial. Medições localizadas a distâncias maiores que “a”, tem distribuição espacial aleatória e pôr isto são independentes entre si. Para estas amostras, a Estatística clássica pode ser aplicada sem restrições. Pôr outro lado, amostras separadas pôr distâncias menores que “a”, são correlacionadas umas às outras, o que permite que se faça interpolações para espaçamentos menores do que amostrados. Dessa maneira, o alcance “a”, é a linha divisória para aplicação de geoestatística ou Estatística Clássica, e pôr isso o cálculo do semivariograma deveria ser feito rotineiramente para dados de campo para garantir as hipóteses estatísticas sob as quais serão analisados (Vieira, 2000).

Trangmar et al., (1985), definiram um parâmetro de comparação do tamanho relativo do efeito pepita, chamado de indicativo da dependência espacial (IDE), o qual possibilita a comparação do tamanho relativo do efeito pepita entre os atributos do solo, dado pela equação 03.

$$\text{IDE} = (\gamma(h) \text{ pepita} / \gamma(h) \text{ total}) \times 100 \quad (03)$$

onde,

$\gamma(h)$ pepita é a semivariância do efeito pepita;

$\gamma(h)$ total é a semivariância total (ou do patamar).

Ao aplicar o referido parâmetro, visando-se definir classes distintas de dependência espacial para os atributos do solo, Cambardella et al. (1994) propuseram a seguinte classificação:

- a) $IDE \leq 25 \%$ indica variável espacial fortemente dependente;
- b) $25 \% < IDE \leq 75 \%$ indica variável espacial moderadamente dependente, e
- c) $IDE > 75\%$ indica variável espacial fracamente dependente.

GS+ (GS+, 2000) propõe a seguinte relação:

$$\% \text{ Semivariância Estrutural} = \frac{C}{C + C_0} * 100 \quad (04)$$

sendo a dependência espacial fraca para valores $\leq 25 \%$; entre 25% e 75%, dependência moderada e $> 75\%$ dependência forte.

Se o semivariograma, ao invés de ser crescente e dependente de h como o mostrado na Figura 01, for constante e igual ao patamar para qualquer valor de h , então tem-se um efeito pepita puro ou ausência total de dependência espacial. Isto significa que o alcance, a , para os dados em questão, é menor do que o menor espaçamento entre amostras. Para estes dados, tem-se uma distribuição espacial completamente aleatória, e a única estatística aplicável, é a Estatística Clássica (Vieira, 2000).

O gráfico do semivariograma experimental, $\gamma(h)$ versus h , calculado usando a equação 02, mostrará uma série de pontos discretos de $\gamma(h)$ correspondendo a cada valor de h , e para o qual uma função contínua deve ser ajustada. Delhomme, em 1976, citado por Vieira (2000), discutiu vários modelos de ajuste aplicáveis a diferentes fenômenos.

O ajuste de um modelo teórico ao semivariograma experimental é um dos aspectos mais importantes das aplicações da Teoria das Variáveis Regionalizadas e pode ser uma das maiores fontes de ambigüidade e polêmica nestas aplicações. Todos os cálculos de geoestatística dependem do valor do modelo do semivariograma para cada distância especificada (Vieira, 2000). Por isto, se o modelo ajustado estiver errado, todos os cálculos

seguintes também o estarão. Como regra, quanto mais simples puder ser o modelo ajustado, melhor, e não se deve dar importância excessiva a pequenas flutuações que podem ser artifícios referentes a um pequeno número de dados. É importante que o modelo ajustado represente a tendência de $\gamma(h)$ em relação a h .

O ajustamento de modelos teóricos à semivariogramas experimentais auxilia na definição do tipo de dependência espacial observada. Qualquer função matemática pode ser usada para modelar um semivariograma embora somente algumas funções sejam comumente usadas.

Os modelos esféricos apresentam estrutura espacial sem desvios ou tendências nos dados e tem reduções graduais na dependência com o aumento da distância até que o patamar (independência espacial) é atingido. O modelo gaussiano tem duas ou mais amostras dentro de uma área de forte dependência espacial, seguida por uma área de transição e então uma área de independência espacial. O modelo gaussiano é assintótico ao verdadeiro patamar e portanto, a amplitude de dependência corresponde a um modelo que consegue 95% da altura do patamar. O modelo exponencial é semelhante ao modelo esférico na aparência, mas o modelo exponencial é assintótico ao verdadeiro patamar. O modelo potencial pode indicar um desvio ou tendência nos dados. Ele também pode indicar que a amplitude de dependência excede a amplitude das amostras e pode ser o começo de um modelo gaussiano (Matos, 2000).

Segundo Vieira (2000), a geoestatística tem um método de interpolação chamado Krigagem, que usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, em tendência e com variância mínima.

A geoestatística utiliza-se do semivariograma para expressar a dependência espacial entre as amostras. Havendo dependência espacial, pode-se estimar valores da propriedade em estudo para os locais não amostrados dentro do campo, sem tendenciosidade e com variância mínima, através do método denominado Krigagem.

A geoestatística oferece uma ampla e flexível variedade de ferramentas que fornecem estimativas para locais não amostrados, geralmente, as técnicas de krigagem estimam valores pela média linear ponderada das amostras disponíveis, não diferente da regressão linear múltipla. O termo “krigagem” foi usado por Matheron, em 1965, em homenagem a Daniel Krige, que primeiro formulou e implementou essa forma de interpolação, em 1951. Krigagem pode ser usada em variável discreta e contínua e, é por isso, sensível para a estimativa de variáveis binárias na presença ou ausência da característica estudada (Rossi et al., 1994).

Como o método tradicional de interpolação de pontos (como a ponderação da distância inversa, triangulação e média das amostras locais), a krigagem pode fornecer a estimativa para um local específico. Frequentemente, os métodos tradicionais são acurados e consomem mais tempo do que a krigagem (Isaaks & Srivastava, 1989).

Segundo Rossi et al. (1994), três características da krigagem a distinguem desses outros métodos. Primeiro, a krigagem pode fornecer uma estimativa que é maior ou menor do que os valores da amostra, sendo que as técnicas tradicionais estão restritas a faixa de variação das amostras. Segundo, enquanto os métodos tradicionais usam distâncias Euclidianas para avaliar as amostras, a krigagem tem vantagem por usar distância e geometria (relação de anisotropia) entre as amostras. Terceiro, diferente dos métodos tradicionais, a krigagem leva em conta a minimização da variância do erro esperado, por meio de um modelo

empírico da continuidade espacial existente ou grau de dependência espacial com a distância ou direção, isto é, através do variograma, covariograma ou correlograma.

A interpolação estatística conhecida como krigagem ordinária (OK) é essencialmente idêntica a regressão linear múltipla, com algumas diferenças quanto ao uso das matrizes utilizadas para resolver os sistemas (Isaaks & Srivastava, 1989).

Segundo Laslett et al. (1987), Voltz & Webster (1990) e Rossi et al. (1994), a krigagem ordinária tem se mostrado o melhor método de interpolação do que aqueles obtidos por outros métodos. Burrough et al. (1992) e Irvin et al. (1997) verificaram que esse uso é bastante eficiente na representação dos atributos do solo.

A krigagem pode ser também utilizada para determinar variáveis subamostradas, através de outras com amostragem mais adensada. Conforme Reichardt (1993) e Kirda et al. (1988), na análise da umidade do solo por meio da geoestatística pode dar inferência sobre outros parâmetros, tais como: produtividade, fixação biológica do nitrogênio, absorção de nutrientes e parâmetros da planta, através do cross-correlograma.

4.3- Geoprocessamento

Geoprocessamento é a tecnologia que abrange o conjunto de procedimentos de entrada, manipulação, armazenamento, análise e saída de dados espacialmente referenciados (Spanhol et al., 1999). Pode ser definido como o conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento e uso de sistemas que a utilizam (Rodrigues, 1990).

Segundo Dainese (2001), geoprocessamento é uma tecnologia transdisciplinar que, através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias, e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados.

O geoprocessamento vem se tornando uma ferramenta poderosíssima e, na maioria das vezes, indispensável à consecução de projetos relacionados à área de meio ambiente. As vastas áreas normalmente abrangidas por estes projetos, bem como o grande número de variáveis contempladas por eles, fazem do uso do geoprocessamento o principal recurso para o manuseio das grandes bases de dados envolvidas neles, sejam elas de natureza espacial ou não (Brites et. al., 1998).

A agricultura é uma atividade muito dinâmica, pois depende de fatores que mudam constantemente no espaço e no tempo. Os fatores inerentes ao solo, ao clima e à planta podem influenciar, isoladamente ou em conjunto, o seu desenvolvimento. Alia-se a isto a ação antrópica que, direta ou indiretamente, afeta o desenvolvimento da cultura de uma maneira positiva (ex: irrigação) ou negativa (ex: queimadas). Para que se alcance o máximo de rendimento de acordo com as potencialidades do solo e com o mínimo de poluição e degradação, é necessário o acompanhamento e gerenciamento de um volume muito grande de informações que variam no espaço e no tempo (Rocha et. al., 1998).

Dentro desse panorama, o geoprocessamento se coloca como um importante conjunto de tecnologias de apoio ao desenvolvimento da agricultura, porque permite analisar grandes quantidades de dados georreferenciados, independentemente de serem estatísticos, dinâmicos, ou atuando de maneira isolada ou em conjunto. Mais do que

isto, o geoprocessamento permite o tratamento desses dados, gerando informações e possibilitando soluções através de modelagem e simulações de cenários, segundo ainda o mesmo autor.

Este conjunto de tecnologias utiliza como ferramenta básica o Geographical Information System – GIS ou Sistema de Informação Geográfica – SIG.

4.3.1- Sistema de Informação Geográfica

A informação geográfica apresenta uma natureza dual: um dado geográfico possui uma localização geográfica, expressa como coordenadas em um espaço geográfico, e atributos descritivos, que podem ser representados num banco de dados convencional. De forma intuitiva, pode-se definir o termo espaço geográfico como uma coleção de localizações na superfície da Terra, sobre a qual ocorrem os fenômenos geográficos (Câmara et al., 1998).

Segundo o mesmo autor, a noção de informação espacial está relacionada à existência de objetos com propriedades, as quais incluem a sua localização no espaço e a sua relação com outros objetos. Estas relações incluem conceitos topológicos (vizinhança, pertinência), métricos (distância) e direcionais (“ao norte de”, “acima de”).

Informação geográfica é o conjunto de dados cujo significado contém associações ou relações de natureza espacial. Um sistema de informação geográfica (SIG) utiliza uma base de dados computadorizada que contém informação espacial (os aspectos do meio natural como relevo, solo, clima, vegetação, hidrografia, etc., e os aspectos sociais,

econômicos e políticos, que permitem uma divisão temática em subsistemas que integram um SIG, sendo esses componentes os atributos), sobre a qual atua uma série de operadores espaciais (conjunto de operações algébricas, booleanas e geométricas, utilizadas no cruzamento de dados pelo SIG). Baseia-se numa tecnologia de armazenamento, análise e tratamento de dados espaciais, não espaciais e temporais e na geração de informações correlatadas, segundo Teixeira et al. (1992).

Desse modo, os conceitos de espaço geográfico e informação espacial são duas formas complementares de conceituar um objeto de estudo em geoprocessamento. Os instrumentos computacionais do geoprocessamento, chamados de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (Câmara & Medeiros, 1998).

Dados geográficos descrevem objetos do mundo real em termos de posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas, seus atributos não aparentes (como a cor, pH, custo, incidência de pragas, etc.) e das relações topológicas existentes. Portanto, um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente e recursos naturais, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento, considerando a concepção de que os dados armazenados representam um modelo do mundo real (Burrough, 1996, citado por Câmara & Ortiz, 1998).

Num SIG, dados de variabilidade espacial de rendimento de cultura podem ser analisados conjuntamente com outros dados (ex.: solos, modelos digitais de elevação, restrições) para se modelar cenários futuros e se avaliar a efetividade de manejo, monitorado para cada área (Rocha et al., 1998). Além disso, as informações podem ser armazenadas e manipuladas de uma maneira flexível e os resultados podem ser documentados

num formato mais adequado para tomadores de decisão como produtor, consultores e prestadores de serviço.

Segundo Burrough & Macdonnell, 1998, citado por Dainese (2001), os dados geográficos (ou espaciais) são assim denominados porque representam um fenômeno do mundo real em função de:

- Sua posição em relação a um sistema de coordenadas conhecido;
- Seus atributos, que correspondem a uma informação;
- Sua inter-relação com outros dados, ou seja, sua topologia.

Silva (1998) sintetizou os requisitos necessários a um sistema para que este seja considerado um SIG: o SIG necessita usar o meio digital, portanto o uso intensivo de informática é imprescindível; deve existir uma base de dados integrada, estes dados precisam estar georreferenciados e com controle de erro; o SIG deve conter funções de análise destes dados, variando de álgebra cumulativa (ex: operações do tipo soma, subtração, multiplicação e divisão) até álgebra não cumulativa (operações lógicas).

Para ser capaz de realizar estas operações e ainda dispor de entrada e saída de dados em diversos formatos, o SIG normalmente integra diversos outros sistemas (ex: processamento digital de imagens, análise estatística, análise geográfica, digitalização), tendo como ponto central um banco de dados. A Figura 02 mostra os diversos sistemas que podem integrar um SIG.

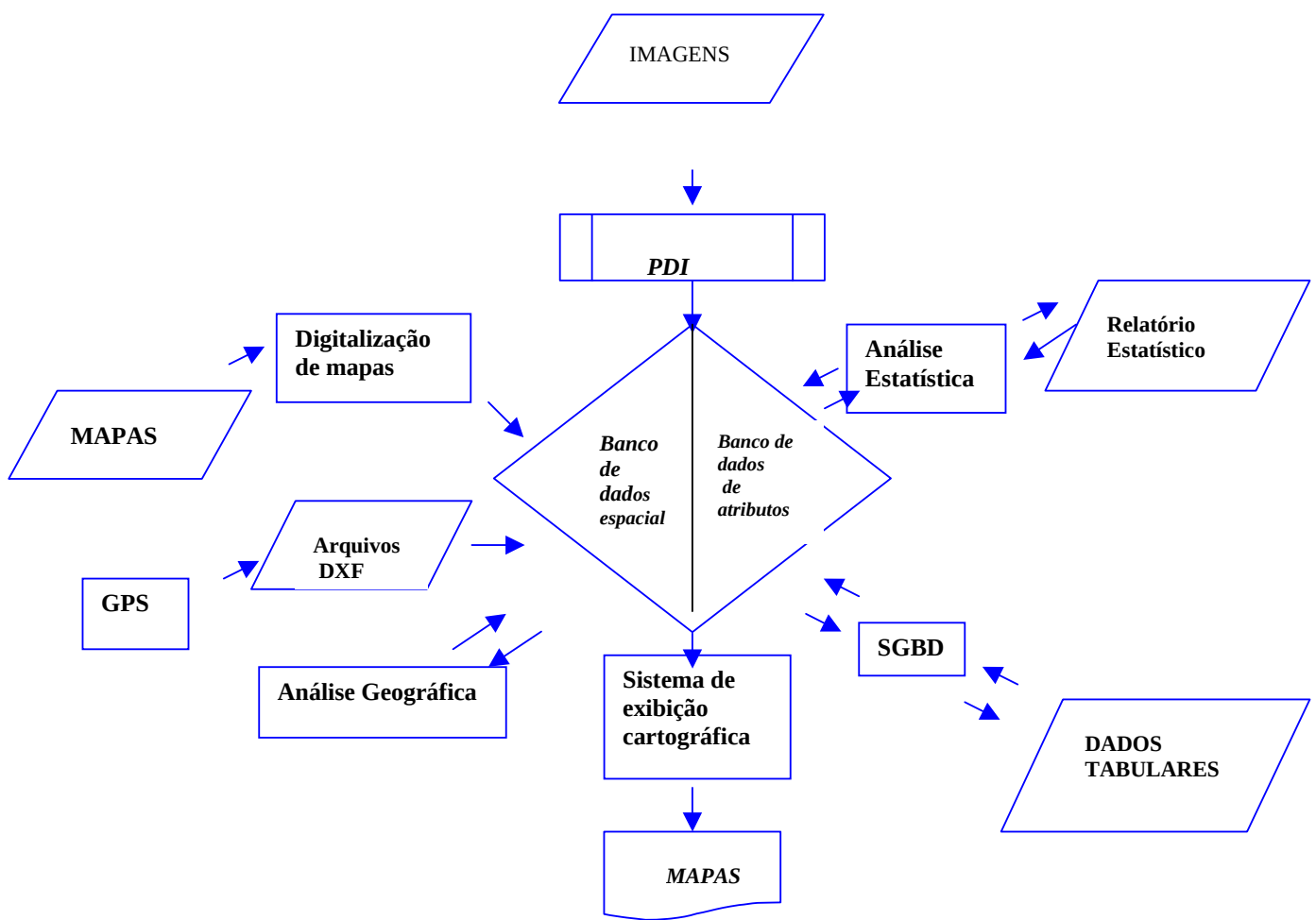


Figura 02 – Sistemas que integram um SIG.

Fonte: adaptado de Eastmam (1999).

Segundo Rocha et al. (1998), desta forma os sistemas que compõe o SIG podem ser divididos em:

- Sistemas de entrada de dados: sistema de processamento digital de imagens (PDI), digitalização de mapas, sistema de posicionamento global (GPS), dados tabulares (planilhas eletrônicas) e dados estatísticos;
- Sistemas de armazenamento de dados: banco de dados espacial (mapas digitais) e banco de dados de atributos (alfanuméricos);

- Sistemas de análise de dados: sistema de análise geográfica (operações algébricas), sistema de análise estatística e sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD);
- Sistema de saída de dados: sistema de exibição cartográfica (saída de mapas para a tela, impressora, plotter e arquivos digitais).

De acordo com Teixeira et al. (1992), na fase de entrada de dados, as fontes utilizadas podem ser classificadas em primárias (dados obtidos diretos do campo) e secundários (mapas gerados a partir de dados estatísticos).

No sistema de armazenamento e recuperação, os dados podem ser tratados através de técnicas de geocodificação, como: vetoriais e matriciais ou raster (Bonham-Carter, 1994). Nas técnicas vetoriais, o espaço geográfico é admitido como contínuo, seguindo a geometria Euclidiana enquanto que nas técnicas matriciais, o espaço geográfico é dividido em elementos discretos, o pixel (Teixeira et al., 1992).

Segundo Castro (1996), a manipulação e análise dos dados ocorrem operações que visam o tratamento, gerenciamento, confecção de modelos digitais do terreno, processamento de imagens, geração e confecção de mapas por computador.

A utilização de SIGs possibilita a geração de bancos de dados codificados espacialmente, promovendo ajustes e cruzamentos simultâneos de grande número de informações. Além disso, pode-se acompanhar a variação de temas, obtendo-se novos mapas com rapidez e precisão, a partir da atualização dos bancos de dados. Trata-se, portanto, de uma importante ferramenta no estudo de potencialidades do meio ambiente. A utilização de SIGs, sob suporte informático, vem permitindo o zoneamento de áreas de forma mais adequada e eficiente, substituindo os métodos tradicionais de análise que são, quase sempre, mais onerosos e de manipulação mais difícil (Assad et al., 1998).

Star & Estes (1990), Langran (1993) e Elias et al. (1998) estudaram a aplicação dos sistemas de informação geográfica na área agrícola, principalmente em mapeamento de características dos solos.

O IDRISI tem sido utilizado por diversos pesquisadores da área agrícola.

4.3.2- Sistema de Informação Geográfica – IDRISI

O SIG-IDRISI, combina processamento de imagens e Sistema de Informações Geográficas. O projeto IDRISI, fundado pela Faculdade de Geografia, na Clark University, Massachussets, Estados Unidos, é responsável pela criação e distribuição do software IDRISI, sendo este um sistema que trabalha com a forma raster de representação de dados, permite a entrada de dados, via mesa digitalizadora, na forma vector.

O sistema IDRISI, citado por Simões (1996), engloba mais de cem módulos que podem ser organizados nos seguintes grupos, de acordo com Baptista et al., em 1995:

- Módulos Centrais: fornecem os meios básicos do sistema operacional, entrada e gerenciamento do banco de dados (dados espaciais e atributos);
- Sistema de Análises Geográficas: representa o grupo de módulos mais importante pois fornece as ferramentas básicas para a análise do banco de dados;

- Sistema de Processamento de Imagens: fornece as ferramentas necessárias para a análise de imagens de sensoriamento remoto, tais como: composição colorida, filtragem, principais componentes, classificação não supervisionada por análise de grupos;
- Sistema de Análises Estatísticas: esse grupo de módulos permite a caracterização estatística de aspectos espaciais e não espaciais das imagens raster. Também possui algoritmos que calculam a superfície de tendência e perfil;
- Módulos Periféricos: apresentam uma série de utilitários e rotinas de importação/exportação para leitura e gravação de arquivos, interagindo com outros softwares de Sistema de Informações Geográficas e processamento de imagens.

O sistema IDRISI se adequa às atividades de pesquisa e ensino devido ao seu custo relativamente baixo e a sua estrutura modular, o que permite o desenvolvimento de novos módulos com o conhecimento mínimo da estrutura interna de funcionamento. O sistema já oferece um número razoável de possibilidades em relação às operações sobre os dados, contemplando mais de 80% dos itens analisados: medidas de distância (em linha reta, em curva, menor distância entre dois pontos, vizinho mais próximo, rota mais curta); medidas de área; zona de influência em torno de pontos, polígonos, linhas retas e linhas curvas; zona de influência ponderada; operações aritméticas em mapas (adição, subtração, multiplicação, divisão exponenciação, diferenciais); funções trigonométricas; funções booleanas (sobre mapas e sobre atributos); conversão (vector-raster, raster-vector); tratamento de imagens; transformações de coordenadas; traçado de redes; tratamento de dados altimétricos (declividade, exposição de vertentes, interpolações, visibilidade entre pontos, curva de nível, perfis de terreno, corte/aterro, modelos digitais de elevação); operações com polígonos

(superposição, ponto em polígonos, combinação e desagregação, remoção após superposição, polígonos de Tiessen), segundo Ribeiro (1998).

Hamada et al. (1996) realizaram um estudo de capacidade de uso das terras utilizando o SIG-IDRISI, no município do Espírito Santo do Pinhal, SP. Inicialmente foram digitalizadas as cartas topográficas do IGC (1978) na escala de 1:10.000, servindo de base para a confecção do modelo de elevação digital (MED). Em seguida, obteve-se o mapa de declividade, que foi reclassificado segundo as classes de declive: A (0-3%), B (3-5%), C (5-12%), D (12-20%), E (20-40%) e F (>40%). As unidades de capacidade de uso foram obtidas do cruzamento das limitações dadas pelos solos e pelas classes de declive. Os resultados deste estudo, segundo os autores, indicaram áreas com problemas de conservação de solo, uso inadequado das áreas ocupadas com plantio de milho, e, nas áreas ocupadas com pastagens, foram identificadas terras com uma diversidade de fatores limitantes, indicando manejo e cuidados diferenciados.

De acordo com Assad et al. (1998), uma das grandes vantagens do IDRISI é a possibilidade de elaboração de mapas de declividade de uma forma rápida. Esses mapas são obtidos, inicialmente, por meio de Modelos de Elevação Digital (MED), definidos como qualquer representação digital da variação contínua do relevo no espaço.

Calijuri et al. (1998), implantaram um SIG para caracterizar tipos de solo, vegetação, rede hidrográfica, relevo, áreas alagadas e impactos na microbacia hidrográfica do Ribeirão e Represa do Lobo, situadas no municípios de Brotas e Itirapina, SP. Foi utilizado o IDRISI para transformar as informações para base digital. O uso do IDRISI, além dos aspectos de agilidade, compatibilização de informações de diferentes fontes, serve para implantar um banco de dados informatizado e atualizado, contendo a evolução de eventos

no espaço e no tempo; além de permitir que o banco de dados seja permanentemente alimentado e atualizado com novas informações e posteriormente reclassificados conforme os conhecimentos e a tecnologia evoluem.

4.4- Classificação de terras para irrigação

O uso adequado da terra é o primeiro passo em direção à agricultura racional. Para isso, deve-se empregar cada parcela de terra de acordo com a sua capacidade de sustentação e produtividade econômica de forma que os recursos naturais sejam colocados à disposição do homem para seu melhor uso e benefício procurando ao mesmo tempo preservar estes recursos para gerações futuras (Lepsch et al. 1991).

Porém, para se executar o monitoramento agrícola de uma região é necessário o mapeamento das áreas em estudo, o qual se constitui instrumento imprescindível para representar as diferentes informações temáticas, as potencialidades naturais relativas ao meio físico (Ferrante, 1990).

Uma metodologia completa envolve a caracterização fisiográfica, hidrológica, sócio-econômica e ambiental da área. Normalmente uma metodologia sofre modificações quando aplicada em regiões com características diferentes. A caracterização fisiográfica inclui a elaboração de mapas básicos e temáticos da área e estes podem ser feitos mediante o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Diante a difusão e disponibilidade de computadores, nos dias atuais, torna-se cada vez mais crescente a disponibilização de mapas em formato digital (Schwab et al., 1993).

A implementação de um SIG que visa diagnosticar e gerenciar estudos hidrológicos e hidrogeológicos exige a obtenção e manipulação de uma grande variedade de informações, tais como, parâmetros hidrológicos básicos, geologia, cobertura vegetal, climatologia, uso da água, dentre outras. Este banco de dados deve incluir características como, rede de transportes, limites municipais, erosão, escoamento de água subterrânea, produtividade de culturas, etc. Para o sucesso da implementação destes é importante considerar as características fundamentais de um Banco de Dados Ambientais que são, a natureza normalmente estatística dos dados, processo de atualização pouco freqüente e resolução espacial relativamente baixa. Estes estudos normalmente cobrem grandes áreas a custos razoáveis e os requisitos de hardware são modestos para implementação desses sistemas (Calijuri et al., 1998).

A formulação de projetos com recursos hídricos é um processo em que selecionam-se e avaliam-se propostas que atentam, não apenas para as características do meio físico como também aspectos econômicos e sociais.

Hagan et al. (1967) considera os seguintes parâmetros físicos para análise na classificação: clima, solo, topografia e drenagem, dados pela seguinte expressão:

$$E = f(S, T, D)$$

onde,

E- é o parâmetro econômico, representando a adequação das terras para a irrigação;

S- características do solo;

T- características da topografia;

D- características de drenagem,

Segundo o mesmo autor, as características que deve-se levar em conta são: textura, estrutura, arranjo dos horizontes, profundidade, salinidade e alcalinidade. Deve-se levar em conta a drenagem superficial e subsuperficial.

A correlação econômica relaciona, num determinado cenário, fatores físicos e químicos dos solos, topografia e drenagem aos fatores econômicos associados (Carter, 1993).

A avaliação de alguns parâmetros que permitem a diferenciação das terras aráveis (terras aptas a irrigação), considera alguns fatores relativos aos solos e meio físico em geral: textura, profundidade lençol freático, capacidade de troca de cátions (CTC), pH, V%, Mg, P, K, água 1/3 atm, água 15 atm, espessura do horizonte, densidade do solo, densidade das partículas, forma do relevo, estrutura, condutividade hidráulica, permeabilidade do solo, declividade e porosidade.

A classificação de qualquer objeto tem por finalidade ordenar os conhecimentos a seu respeito de maneira simples e precisa. Objetos iguais ou semelhantes em termos de determinadas características e propriedades previamente definidas são agrupados nas mesmas classes (Lepsch, 1991).

Arevalo (1990) utilizou a classificação da FAO para discriminar as terras para irrigação na Colômbia, onde disponibilidade de água, condições topográficas, risco de compactação, drenabilidade, condições de sais no solo, risco de inundação ou encharcamento, profundidade, nível freático e balanço hídrico local são de vital importância.

Marker et al. (1973), estudando a região do Novo México, concluíram que os fatores que afetam as classes de terra para irrigação são: textura do solo, profundidade efetiva do solo, capacidade de água disponível, permeabilidade, erosão, declividade e

drenagem superficial e subsuperficial.

A seleção de terras para irrigação compreende uma análise criteriosa dos fatores físicos e econômicos, sendo utilizados sistemas de classificação de solos, e deve inicialmente identificar as áreas de terras que tem produtividade adequada para garantir consideração daquela área para o desenvolvimento da irrigação, sendo denominadas de terras aráveis (Hagan et al., 1967).

Um dos sistemas de classificação de terras para irrigação, mais difundido no mundo é o sistema elaborado pelo “US Bureau of Reclamation”, de 1951, e adaptado por Carter (1993), sendo as classes de terra definidas pelos atributos físicos da terra. Destaca, também, que as condições econômicas, depois da classificação das terras, são fundamentais para a elaboração de orçamentos e estudos de viabilidade, na implantação do projeto.

No Brasil, em 1993, técnicos do “Bureau of Reclamation”, do Departamento do Interior dos Estados Unidos, elaboraram uma série de manuais sobre irrigação e entre eles “Classificação de terras para Irrigação”, tendo como base o boletim americano de 1982, que elabora os parâmetros e atividades para a classificação de terras (Carter, 1993). Nos procedimentos normais do “Bureau of Reclamation”, as terras classificadas como aptas para irrigação são denominadas terras aráveis. Na classificação dessas terras, normalmente supõe-se que a água possa ser entregue a cada área arável de forma viável (Carter, 1993).

Nesta classificação de Carter (1993), as classes de terra para irrigação reúnem-se em dois grupos: terras aráveis e aptas para irrigação (quatro classes); terras não aráveis (duas classes), sendo uma provisória. No primeiro grupo tem-se as terras aráveis, ou

aptas para irrigação que engloba a classe 1 a classe 4; e no segundo grupo, tem-se as terras não aráveis, ou inaptas para irrigação, que envolve 2 classes, a classe 5 (classe provisória), e a classe 6. A classe 1 tem a maior capacidade de pagamento, com retornos econômicos progressivamente menores à medida que os números de designação das classes aumentam. A classe 5 (classe provisória) indica terras potencialmente aráveis, mas que requerem estudos adicionais para uma classificação definitiva. A classe 6 - para terras não aráveis - representa terras que geram uma renda líquida do lote insuficiente para cobrir custos.

Segundo Carter (1993), as classe de terras definidas como aráveis e não aráveis são apresentadas a seguir:

- **Classe 1 – Arável** – Terras mais aptas para irrigação, sendo capazes de sustentar produções de ampla faixa de culturas, com solo química e fisicamente adequado a produção;
- **Classe 2 – Arável** – Terras com aptidão moderada à irrigação, exigindo custos mais altos para preparo, irrigação e cultivo do que a classe 1;
- **Classe 3 – Arável** – Terras com baixa aptidão para irrigação, por apresentar deficiência de solo, topografia e drenagem, deficiências estas mais severas individualmente ou combinadas. Apresentam menor capacidade produtiva, maiores custos de produção e de desenvolvimento;
- **Classe 4 – Arável** – Terras com aptidão restrita para irrigação, apenas para projetos que apresentem alto retorno econômico, devendo ser usada somente em raras situações;
- **Classe 5 – Provisória** – Terras que necessitam ter resolvidos alguns aspectos do projeto sendo que posteriormente essas terras passam para a classe 4 ou classe 6 ;

- **Classe 6 – Não Arável** – Terras que não atingem os requisitos mínimos para pagar os custos de operação, manutenção e reposição (OM&R) do projeto.

A classificação de terras exige análise e avaliação das suas características físicas e químicas, incluindo as características do solo e os aspectos topográficos e de drenagem (Carter, 1993). As classes de terras para irrigação devem ser subdivididas em subclasses, sendo usadas para indicar deficiências nos três fatores básicos das terras: solo (s), topografia (t) e drenagem (d).

É essencial que uma simbologia adequada seja desenvolvida para fornecer uma coletânea de dados precisos e completos a aptidão para irrigação, a avaliações significativas e a outros fatores. O símbolo, correlacionado às respectivas medidas de áreas, fornece um meio de resumir a aptidão das terras do projeto e outros dados essenciais ao estudo (Carter, 1993).

A Figura 03 ilustra uma representação de classificação de terras para irrigação.

Os símbolos C, 1, 2, B e X são avaliações opcionais e, por conseguinte, nem sempre aparecem na simbologia. As avaliações opcionais ou informativas incluem uso da terra, produtividade, limites de custos de desenvolvimento das terras, necessidade de água e drenabilidade, quando necessários. As avaliações devem ser representadas por símbolos apropriados no denominador do modelo de representação cartográfica para classificação de terras para irrigação, como mostrado na Figura 03.

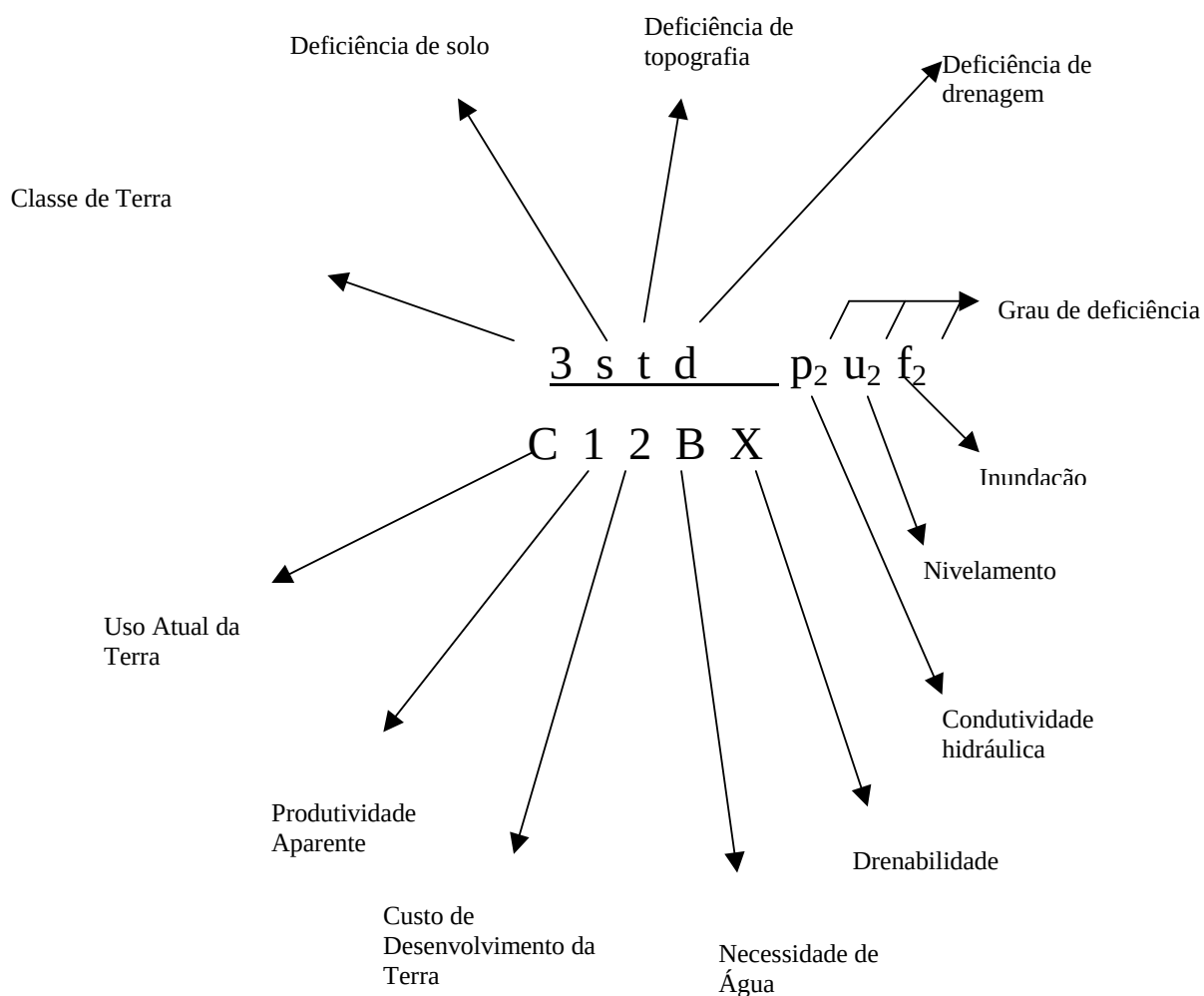


Figura 03 - Fórmula básica para representação cartográfica para classificação de terras para irrigação.

De acordo com Carter (1993), seis classes de terras estão disponíveis para serem usadas na designação de arabilidade, à exceção da 1, as demais classes são usualmente divididas em subclasses para fornecer dados complementares relativos à aptidão das terras, ou para suprir apreciações informativas. A separação em duas ou três classes

aráveis é a mais comum.

As designações das subclasses devem ser usadas para fornecer informações básicas relativas às características das terras e à aptidão para irrigação. As subclasses são usadas para indicar deficiências nos três fatores básicos das terras: solo, topografia e drenagem. As razões para se colocarem áreas em classes mais baixas que a Classe 1 são indicadas acrescentando-se as letras “s”, “t” e “d” ao número da classe, a letra mostra se a deficiência é de “solo”, “topografia” ou “drenagem” (Carter, 1993).

A classificação de terras é feita primordialmente para obter informações necessárias à delimitação das terras em áreas de classes aptas para irrigação, eliminando as áreas inaptas nas condições econômicas prevalentes (Carter, 1993). Segundo o mesmo autor, os dados da classificação das terras também são usados para estabelecer as necessidades de água para os diferentes tipos de solos, as perdas através da percolação, a eficiência da irrigação e para definir o método de irrigação e o padrão de cultivo mais adaptado à área específica. As necessidades de drenagem são definidas também pela classificação de terras.

Um grande volume de dados adicionais relativos a agronomia, economia e engenharia é obtido e correlacionado com as características físicas e químicas das terras nas diferentes designações de classes de terra. Dados relativos a solos, topografia, drenagem, uso atual da terra, cobertura vegetal e demais fatores são coletados e apresentados nas observações dos perfis incluídos em cada ficha de campo de classificação de terras. Os resultados da classificação são utilizados em estudos econômicos e na análise dos benefícios do projeto, a fim de se determinar a justificativa econômica para a sua implantação. Portanto,

uma classificação de terras é fundamental para o sucesso técnico e econômico de qualquer projeto de irrigação (Carter, 1993).

Segundo a FAO, 1985, citado por Carter (1993), o método de trabalho para a determinação de classes para a irrigação consiste em escolher parâmetros do solo com relação ao manejo das águas, que são os que mais amplamente serão utilizados na irrigação e definir uma metodologia específica de avaliação para cada região ou local.

5- MATERIAL E MÉTODOS

5.1- Caracterização Ambiental

A parte inicial da microbacia do Rio Pardo localiza-se no município de Pardinho - SP, cujas coordenadas são: 23°05' de latitude Sul e 48°14' longitude WGr (IGC, 1978 e IBGE, 1982), como ilustra a Figura 04, com área de 6320ha e 45,69km de perímetro, sendo o divisor de águas entre as bacias do Rio Tietê e Rio Paranapanema, fazendo parte da bacia do Rio Paranapanema.

Segundo a classificação de Köppen, o clima regional pertence a classe Cwa e a vegetação nativa regional pode ser enquadrada como Floresta Tropical Subperenifólia e Floresta Tropical Subcaducifólia (Zimback, 1997).

Na região em estudo, segundo o IPT (1981), afloram duas formações geológicas: nas partes mais altas, acompanhando o divisor de águas da microbacia, aparecem arenitos mais resistentes ao intemperismo, pertencentes ao Grupo Bauru, Formação Marília e,

5.2- Material

5.2.1 – Material Cartográfico

Foram utilizadas, para a vetorização das curvas de nível e da rede de drenagem da Microbacia, as cartas Planialtimétricas do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, em escala 1:10.000, com equidistância entre curvas de nível de 5m, editadas em 1978 pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC, 1978). O Quadro 1, a seguir, mostra as cartas que foram utilizadas.

Quadro 01- Relação de cartas planialtimétricas na escala de 1:10.000/IGC utilizadas para o estudo da área.

Codificação Internacional	Nome da folha
• SF-22-Z-B-VI-3-SO-F	Recanto Zodíaco
• SF-22-Z-B-VI-3-SE-E	Fazenda Santa Rosa I
• SF-22-Z-B-VI-3-SO-F	Fazenda Monjolão
• SF-22-Z-D-III-1-NE-A	Bairro Roseira da Serra
• SF-22-Z-D-III-1-NO-D	Fazenda Três Barras
• SF-22-Z-D-III-1-NE-C	Pardinho
• SF-22-Z-D-III-1-NO-F	Fazenda Santa Bárbara
• SF-22-Z-D-III-1-NE-E	Bairro do Oleo

5.2.2 – Mapa de Solos

Foi utilizado o mapa semidetalhado de solos, escala 1:10.000 (Zimback, 1997), como base de dados para a vetorização na tela do computador das unidades de solo ocorrentes na microbacia do Rio Pardo, como mostra a Figura 05.

O mesmo levantamento foi utilizado para a locação dos pontos amostrados com as respectivas análises químicas, físicas e morfológicas.

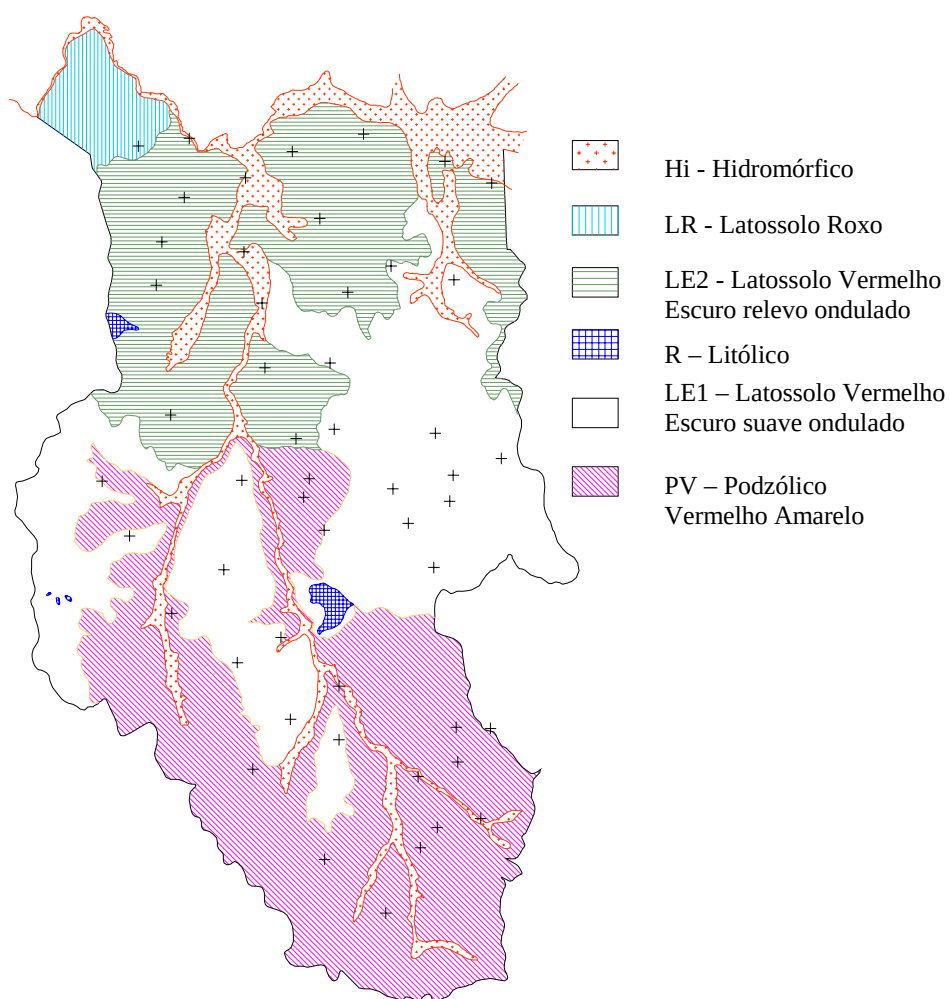


Figura 05 – Mapa de solos com os pontos amostrados das trincheiras (Zimback, 1997).

5.2.3 – Equipamentos

As cartas planialtimétricas foram obtidas no formato digital num scanner HP Scanjet 3400C e o processamento dos dados foi realizado num microcomputador Pentium III, 866 MHz, 128 Mb de memória RAM, 20 Gb de disco rígido, monitor 17'', com gravadora de CD-Rom HP e impressora a jato de tinta HP Deskjet 840C.

5.2.4 – Programas utilizados

O programa Adobe Photoshop 5.0 foi utilizado na aquisição de dados das cartas planialtimétricas para obtenção dos dados das curvas de nível e da rede de drenagem, via scanner.

Utilizou-se o programa AutoCAD Release 2000, para a digitalização na tela do computador das curvas de nível e da rede de drenagem.

Posteriormente, utilizou-se o programa IDRISI for Windows 32 (Eastman, 1999) para realizar todas as análises geoestatísticas e cruzamentos das informações necessárias no decorrer do trabalho.

Foi utilizado também o programa Excel, do pacote Office for Windows, para confecções de planilhas dos dados dos atributos dos solos.

5.3- Métodos

Os mapas e dados obtidos de levantamento semidetalhado de solos (Zimback, 1997) foram primeiramente vetorizados em AutoCAD Release 2000, procedida a análise espacial e posteriormente estes parâmetros foram utilizados no SIG IDRISI for Windows 32 (Eastman, 1999), para a classificação interpretativa. (Solos para Irrigação).

As etapas serão descritas a seguir, separadamente.

5.3.1- Origem e Obtenção dos Dados

Os dados físicos e químicos da área em estudo foi adquirido do trabalho, de Zimback, 1997, de onde foram obtidos 51 pontos amostrados georreferenciados (51 trincheiras). Desses dados, obteve-se informações sobre: pH, CTC (Capacidade de Troca de Cátions), V% (índice de saturação por bases), K (Potássio), Al (Alumínio), Ca (Cálcio), P (Fósforo), Mg (Magnésio), água 1/3 atm (retenção de água a 1/3 atm), água 15atm (retenção de água a 15 atm), densidade de partículas, densidade do solo, forma do relevo, permeabilidade, k_0 (condutividade hidráulica), teor de argila, tanto para o horizonte superficial (0-30cm) como o horizonte subsuperficial (30-120cm).

Para que se classifique terras para irrigação faz-se necessário que obtenha a partir desses atributos do solo, características que permitam avaliar determinados parâmetros. Obteve-se, então, a partir de valores de água 1/3 atm e água 15 atm, valores de água disponível superficial e subsuperficial.

Através da equação 05 pode-se obter valores de água disponível.

$$AD = U_{cc} - U_{pmp} \quad (05)$$

onde

AD = água disponível, em mm;

U_{cc} = retenção de água a 1/3 atm, com base em peso, em %;

U_{pmp} = retenção de água a 15 atm, com base em peso, em %.

A partir da densidade do solo e da densidade de partículas obteve-se dados de macroporosidade superficial e subsuperficial.

Pela equação 06 pode-se observar que a macroporosidade, tanto superficial e subsuperficial, foi calculada por:

$$\mu = P - cc \quad (06)$$

onde

μ = macroporosidade, em %;

P = porosidade, em %;

cc = retenção de água a 1/3 atm, com base em volume %.

Para isto fez-se necessário calcular a porosidade (P) e retenção de água com base em volume (cc), como mostra a equação 07 e 08, respectivamente.

$$P = \frac{D_p - D_s}{D_p} * 100 \quad (07)$$

onde

P = porosidade, em %;

D_p = densidade de partículas, em g/cm³;

D_s = densidade do solo, em g/cm³.

$$cc = Ds \times Ucc \quad (08)$$

onde

cc = retenção de água a 1/3 atm, com base em volume, %;

Ds = densidade do solo, em g/cm³;

Ucc = retenção de água a 1/3 atm, com base em peso, em %.

As curvas de nível e a rede de drenagem foram obtidas a partir das cartas planialtimétricas do IGC (1978), na escala de 1:10.000, sendo obtidas no formato digital e transportadas para o software Adobe Photoshop 5.0 para a união das cartas e delimitação da área de trabalho.

Após a delimitação da área da microbacia hidrográfica em estudo, no Adobe Photoshop 5.0, foi inserida a imagem no AutoCAD 2000 através do menu Insert / Raster Image e, então, foi procedida a digitalização das curvas de nível e da rede de drenagem. Finalizando a vetorização, os arquivos foram convertidos no formato DXF, versão 12 do AutoCAD Release 2000 e exportados para o SIG IDRISI 32 for Windows (Eastman, 1999). Então, foram importados pelo software IDRISI 32 no módulo File / Import / Desktop Publishing Formats / DXFIDRIS. As Figuras 06 e 07 ilustram a digitalização finalizada das curvas de nível do limite da área de estudo e da rede de drenagem, respectivamente.

As características do solo foram transportadas para planilhas eletrônicas do software Excel, contendo as coordenadas de cada perfil (ponto amostrado) e o respectivo valor do atributo em estudo. Esse arquivo foi salvo no formato texto (extensão txt) e importado pelo software IDRISI 32 pelo módulo File / Import / Software-Specific Formats / XYZIDRIS.

Tendo em mãos dados das características do solo, das curvas de nível, da rede de drenagem e o limite da área da microbacia, no SIG IDRISI 32, os arquivos estão prontos para inicialização de todas as análises propostas.

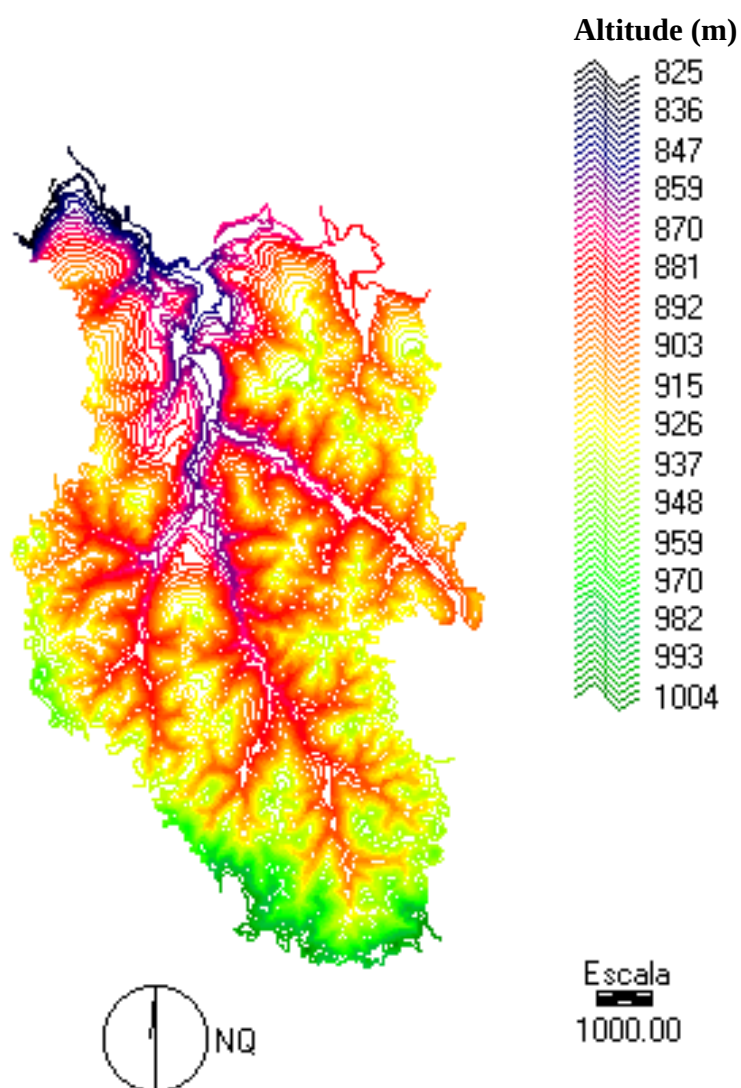


Figura 06 – Curvas de nível vetorizada na tela do computador pelo software AutoCAD 2000.



Figura 07 - Rede de drenagem e limites digitalizados pelo software AutoCAD 2000.

5.3.2- Análises Exploratória dos Dados

Primeiramente verificou-se a qual tipo de distribuição se enquadram os dados de pH, CTC, V%, K, P, Al, Ca, Mg, Água disponível (AD) superficial e subsuperficial, Macroporosidade superficial e subsuperficial, Textura superficial e subsuperficial, k_0

superficial e subsuperficial e Permeabilidade superficial e subsuperficial. Para isto utilizou-se do teste Y, proposto por D'Agostinho, 1971, descrito por Parkin & Robinson (1992) para testar a normalidade dos dados. Todos os cálculos para este fim foram realizados em planilhas eletrônicas no software Excel.

Os dados que não obedeceram a distribuição normal foram transformados para ln (logaritmo natural).

5.3.3- Análise Geoestatística dos Dados

O estudo da variabilidade e dependência espacial das características do solo da área em estudo foi inicialmente associado com suas respectivas posições no campo, ou seja, os dados foram georreferenciados.

Nas características do solo, como pH, V%, CTC, K, P, Al, Ca, Mg, k_0 superficial e subsuperficial, AD superficial e subsuperficial, teor de argila superficial e subsuperficial e Macroporosidade superficial e subsuperficial, Permeabilidade superficial e subsuperficial e em valores das curvas de nível foram efetuadas as análises da dependência espacial através da construção de semivariogramas experimentais e teóricos (Isaaks & Srivastava, 1989).

Para isto foi utilizado o SIG IDRISI 32 (Eastman, 1999). Desta forma, todos os dados foram pareados em todas as combinações possíveis e agrupados dentro de classes (Lags) de distâncias e direções aproximadamente iguais. As análises espaciais foram

processadas através do módulo Analysis / Surface Analysis / Geostatistics / Spatial Dependence Modeler, onde foram construídos os semivariogramas experimentais.

Modelos teóricos de semivariogramas – gaussiano, esférico, exponencial, linear, entre outros – foram superpostos à sequência de pontos obtidos, no semivariograma experimental, de modo que a curva que melhor se ajustar aos pontos obtidos, denomina-se de semivariograma teórico, mostrando, assim, o efeito pepita, o patamar e o alcance para a variável estudada. Desse modo foi realizado no SIG IDRISI 32 for Windows, no módulo Analysis / Surface Analysis / Geostatistics / Model Fitting, para verificar o melhor ajuste para o semivariograma teórico seguindo modelo de Isaaks & Srivastava, 1989.

A partir dos dados de efeito pepita e patamar, a análise da dependência espacial foi realizada a partir da equação proposta por Trangenin et al. (1985) com a qual tem-se o indicativo da dependência espacial (IDE), possibilitando a comparação do tamanho relativo do efeito pepita entre os atributos do solo. Posteriormente pode-se classificar a análise, de acordo com Cambardella et al. (1994), determinando se a dependência espacial encontrada é fraca, moderada ou forte.

5.3.4- Interpolação dos Dados – Krigagem Ordinária

A geoestatística utiliza-se do semivariograma para expressar a dependência espacial entre as amostras. Havendo dependência espacial, pode-se estimar valores da propriedade em estudo para os locais não amostrados dentro do campo, sem tendenciosidade e com variância mínima, através do método denominado Krigagem.

Na modelagem dos semivariogramas experimentais dos valores das características do solo indicará a possibilidade de utilização da Krigagem para a interpolação dos mapas de pH, V%, CTC, K, P, Al, Ca, Mg, k_0 superficial e subsuperficial, AD superficial e subsuperficial, teor de argila superficial e subsuperficial, Macroporosidade superficial e subsuperficial e curvas de nível, isto é, se houver a dependência espacial entre os dados.

A partir de valores obtidos do semivariograma e detectada a dependência esperada foi realizada a Krigagem Ordinária Pontual dos valores de cada variável, que é processado por um interpolador exato e não tendencioso entre pontos amostrados e estimados (David, 1988).

A estimativa de valores para as características físicas e químicas do solo para a geração de uma superfície contínua foi efetuada no SIG IDRISI 32, quando foi possível detectar e modelar a estrutura da variabilidade espacial. Isto foi efetuado no módulo Analysis / Surface Analysis / Geostatistics / Kriging and Simulation. Na ausência de dependência espacial, como foi notado trabalhando com a CTC e dados de Ca, foi utilizado outro estimador, o Interpol, para a confecção do respectivo mapa, no módulo Analysis / Surface Analysis / Interpolation / Interpol.

A partir das interpolações iniciou-se o processo de verificação da exatidão da interpolação dos dados, no SIG IDRISI 32, executando-se inicialmente a técnica de validação cruzada (“cross validation”) que efetua a comparação dos valores originais em cada ponto em relação aos valores estimados pelo modelo do semivariograma teórico para este mesmos pontos (Davis, 1987).

5.3.5 - Modelo Numérico do Terreno (MNT)

O termo Modelo Numérico do Terreno (MNT) é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço, podendo ser utilizados para modelar informações relativas às altimetria, unidades geológicas ou propriedades do solo ou subsolo.

A partir de dados de MNT, é possível materializar informações georreferenciadas e analisar sua abrangência. No caso de atributos de solos como estudados é possível regionalizá-los através de algum método de interpolação que os materialize em forma de mapas, desde que seus valores em ponto sejam conhecidos e que estes sejam georreferenciados.

Através do módulo Analysis / Surface Analysis / Interpolation, utilizou-se o comando “kriging”, para obter o Modelo Numérico do Terreno (MNT) de cada característica afim. O modelo foi obtido através da interpolação dos valores das características do solo, como pH, V%, CTC, K, P, Al, Ca, Mg, k_0 superficial e subsuperficial, AD superficial e subsuperficial, teor de argila superficial e subsuperficial e Macroporosidade superficial e subsuperficial, bem como, os valores das curvas de nível.

5.3.6 – Limitando a Área de Estudo

Após obter o Modelo Numérico do Terreno (MNT), os mapas interpolados de cada atributo foi cruzado com o limite da área em estudo. Isto foi feito no SIG

IDRISI 32, no módulo Analysis / Database Query / Overlay. Para isto, o arquivo limite foi vetorizado, primeiramente, na tela do computador, no formato polígono no próprio SIG IDRISI 32, no módulo Digitize. Então, o polígono foi transformado em raster, no módulo Reformat / Raster / Vector Conversion / Polyras. Finalmente pôde-se, então, multiplicar as imagens limite x krigagem de cada atributo.

5.3.7 – Classificando os Atributos do Solo

Obtendo as imagens de cada atributo limitada pela área de estudo, fez-se então para cada mapa, a classificação dos parâmetros de cada atributo do solo, como pH, CTC, V%, P, Mg, K, Ca, Al, AD superficial e subsuperficial, k_0 superficial e subsuperficial, Macroporosidade superficial e subsuperficial, Permeabilidade superficial e subsuperficial, dentro de seus respectivos limites, definidos conforme a classificação de terras para irrigação.

Foi utilizado o módulo Analysis / Database Query / Reclass, onde pode-se definir os intervalos de classes para cada parâmetro de cada atributo do solo analisado.

5.3.8- Classificação de Terras para Fins de Irrigação.

5.3.8.1- Classe de Terra

As classes de terras foram definidas conforme as limitações que cada

classe apresentou em relação as subclasses e as deficiências.

5.3.8.2- Subclasses e Subscritos Básicos

As subclasses de terras, também denominadas por subscritos básicos, foram s, t, d, st, td, std. A interação ou efeitos cumulativos das deficiências podem justificar a inclusão de uma terra numa classe inferior. A Classe 1 não possui subclasses.

Na Classe 4, adaptada para cultivos especiais, são recomendados os seguintes subscritos:

- Arroz Irrigado.....(R)
- Fruticultura.....(F)
- Horticultura.....(V)
- Irrigação por aspersão.....(S)
- Irrigação subterrânea.....(U)
- Pastagem.....(P)

Podem ainda ser utilizados subscritos para indicar qual a posição que as terras ocupam na paisagem:

- Isolada.....(I)
- Alta.....(H)
- Baixa.....(L)

5.3.8.3- Deficiências

Outros símbolos para avaliações informativas podem ser necessários à medida que surgem deficiências de solo, topografia ou drenagem. Estes símbolos devem ser postos no lado direito do símbolo para classe de terras. Tais símbolos podem ser expandidos posteriormente pelo uso de notações mostrando os graus de deficiência. Alguns dos símbolos, citado por Carter (1993), usados freqüentemente são:

- Deficiência do solo:

K: profundidade efetiva;

v, h: textura;

q: água disponível ;

i: infiltração;

p: permeabilidade;

x: pedregosidade;

y: fertilidade do solo;

e: erodibilidade.

- Deficiência de topografia:

g: declividade;

u: nivelamento;

c: cobertura vegetal superficial que precisa ser removida;

r: rochosidade;

- Deficiência de drenagem:

f: drenagem superficial (inundação);

w: drenagem subsuperficial (lençol freático);

o: escoamento.

Após avaliado os graus de deficiências de cada parte da microbacia em estudo, foram agrupados definindo as deficiências de solo, topografia e drenagem.

5.3.8.4- Grau de Deficiências

Segundo Curi et al. (1987), as avaliações são agrupadas em características ambientais (externas) e intrínsecas ao próprio solo.

As características externas são referentes a topografia e drenagem superficial e as do solo (profundidade efetiva, textura, erodibilidade, etc.).

Todos os mapas foram reclassificados no módulo Analysis / Database Query / Reclass, do SIG em uso.

5.3.8.4.1- Topografia

- g: deficiência por declividade:

1 : plana: declividade inferior a 2%, sem micro-relevo - **grau de limitação nulo.**

2 :suave ondulada: declividade entre 2 e 5%, com pendentes longos; ou inferior a 2%, quando existe micro-relevo - **grau de limitação ligeiro.**

3 : ondulada: declividade entre 5 e 10%; ou menor que 5%, com pendentes curtos - **grau de limitação moderado.**

4 : forte ondulada: declividade entre 10 e 20%; ou entre 5 e 10%, com pendentes curtos - **grau de limitação forte.**

5 : montanhosa: declividade maior que 20%; ou maior que 10%, com superfície irregular - **grau de limitação muito forte.**

Obteve, primeiramente o mapa de declividade. Com a imagem contendo valores de altitude, foi possível calcular as respectivas declividades. O módulo que realiza esse cálculo é o Analysis \ Context Operators \ Surface.

A partir do mapa de declividade, fez-se, então, o mapa para verificar a deficiência por declividade, onde foram definidos os intervalos inferior a 2 %, de 2 a 5%, de 5 a 10 %, de 10 a 20% e superior a 20% de declividade, indicando o grau de deficiência em relação a declividade, para cada intervalo.

O mapa de declividade foi então reclassificado no módulo Analysis / Database Query / Reclass, do SIG IDRISI e, a partir daí, foram definidos os intervalos para cada grau de deficiência, resultando no mapa de deficiência por declividade.

- u: nivelamento: refere-se as necessidades de movimentação de terras para regularização da superfície do terreno.

1 : nulas ou pequenas – **grau de limitação nulo.**

2 : médias – **grau de limitação ligeiro.**

3 : altas – grau de limitação forte.

Tendo em mãos o mapa de declividade, fez-se então o mapa de deficiência por nivelamento, avaliando a deficiência em relação a topografia da microbacia em estudo. Definiu-se, então, intervalos de 0 a 2 %, para grau de limitação nulo, de 2 a 5 % para grau de limitação ligeiro, e intervalo superior a 5%, definindo o grau de limitação forte.

Então, a partir do mapa de declividade, elaborou-se novamente uma reclassificação. Essa nova classificação foi efetuada também no módulo Analysis / Database Query / Reclass, do SIG IDRISI 32.

- *r : rochosidade*: refere-se a presença de afloramentos rochosos na superfície do terreno.

Refere-se a necessidade de remoção de pedras.

1 : rochosidade inferior a 2% da área- grau de limitação nulo.

2 : rochosidade compreendida entre 2-10% - grau de limitação ligeiro.

3 : rochosidade compreendida entre 10-25% - grau de limitação moderado.

4 : rochosidade maior que 25%, impedindo o uso de máquinas agrícola – grau de limitação forte a muito forte (> 50%).

Com o mapa de solos em mãos pôde-se obter o mapa de deficiência por rochosidade, onde o grau de limitação nulo envolve os solos dos tipos Latossolos (LR, LE₁ e LE₂); Argissolo (PV) e Gleissolo (Hi). O solo do tipo Neossolo (R) engloba o grau de limitação de nível 4, ou seja, forte a muito forte. Essa classificação foi realizada como toda classificação já feita.

- c : cobertura vegetal: baseia-se no tamanho, diâmetro e número de árvores. Refere-se a cobertura vegetal superficial que precisa ser removida.

1 : remoção feita a baixos custos, insuficientes para reduzir a produtividade; pequenos custos de limpeza – **grau de limitação nulo**.

2 : remoção feita a médios custos, suficientes para reduzir a produtividade; médios custos de limpeza – **grau de limitação ligeiro**.

3 : remoção feita a altos custos, reduzindo a produtividade; cobertura densa – **grau de limitação forte**.

O mapa de deficiência por cobertura vegetal foi elaborado a partir do mapa de uso atual da terra. Tendo em mãos o mapa de uso atual, foi reclassificado, demarcando a área que indicava floresta para grau de limitação ligeiro e para grau de limitação nulo, as áreas com outros tipos de ocupação.

5.3.8.4.2- Drenagem

- f : inundação: refere-se a frequência e duração do período em que as terras ficam cobertas pelas águas.

1 : sem risco - **grau de limitação nulo**.

2 : ocasionais e curtas - **grau de limitação ligeiro**.

3 : periódicas curtas ou médias, e/ou anuais curtas - **grau de limitação moderado**.

4 : periódicas longas – **grau de limitação forte**.

5 : permanentes - **grau de limitação muito forte**.

Em relação a avaliação de deficiência por drenagem, quando estudado o grau de deficiência por inundação (f), definiu-se para o grau de limitação nulo, os solos das classes LR, LE₁, LE₂, R, PV e para o solo da classe Hi, propôs-se o grau de limitação moderado.

- w : lençol freático : exprime-se pelo período de tempo em que o nível do lençol freático atinge a profundidade de distribuição das raízes da maioria das plantas cultivadas (lençol freático elevado).

1 : nulo ou ocasional - **grau de limitação nulo**.

2 : período inferior a 3 meses - **grau de limitação ligeiro**.

3 : período entre 3 a 6 meses - **grau de limitação moderado**.

4 : período superior a 6 meses – **grau de limitação forte**.

5 : permanente - **grau de limitação muito forte**.

A partir do mapa de solos, fez-se uma nova, obtendo para os solos dos tipos LR, LE₁ LE₂, PV, R, grau de limitação nulo, e para o solo do tipo Hi, grau de limitação ligeiro.

- o: escoamento: refere-se às dificuldades de descarga das águas de drenagem superficial, para os cursos de água naturais que é o requerimento de drenagem superficial e subsuperficial.

1 : livres ou pequenas - **grau de limitação nulo**.

2 : médias - **grau de limitação ligeiro**.

3 : grandes - **grau de limitação moderado**.

4 : sem possibilidades de escoamento – **grau de limitação forte**.

Para os solos do tipo LR, LE₁ e LE₂ foi determinado, a partir do módulo Analysis / Database Query / Reclass, o grau de limitação nulo. Para os solos tipo PV e R, definiu-se como grau de limitação ligeiro, e para o solo do tipo Hi, o grau de limitação moderado.

5.3.8.4.3- Solo

- *k: profundidade efetiva*: refere-se a espessura do perfil explorável pelas plantas (horizonte A + B).

1 : maior que 120 cm - **grau de limitação nulo**.

2 : compreendida entre 120 e 80 cm - **grau de limitação ligeiro**.

3 : compreendida entre 80 e 40 cm – **grau de limitação moderado**.

4 : inferior a 40 cm - **grau de limitação forte**.

Os solos do tipo LR, LE₁, LE₂ e PV foram classificados como grau de limitação nulo. Para o solo do tipo Hi foi classificado como grau de limitação forte, e o grau de limitação muito forte agrupou o solo do tipo R. Isto também foi realizado no módulo Analysis / Database Query / Reclass, do SIG em uso.

- *v, h : textura*: considera-se os horizontes superficiais dentro dos primeiros 30 cm.

1 : média (franco-arenosa, franca, franco-argilo-arenosa, franco-argilosa). Friável - **grau de limitação nulo**.

2 : Argilo-arenosa ou argilosa (argila 1:1). Friável - **grau de limitação ligeiro**.

3 : Areia franca-friável; argilosa (argila 2:1) – firme - **grau de limitação moderado**.

4 : Arenosa, siltosa, argilosa (argila 2:1) - muito firme – **grau de limitação forte**.

A partir do mapa de textura superficial, pode-se limitar o grau de deficiência como nulo, quando o teor de argila for de 15 a 35 %; ligeiro, quando maior que 35% e grau de limitação forte, quando o teor de argila for menor que 15 %.

- e: erodibilidade: exprime a susceptibilidade ou propensão aos processos erosivos. Utilizam-se os graus de limitação do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Ramalho Filho et al., 1995).

1 : grau de limitação nulo (N) – terras não suscetíveis à erosão. Geralmente ocorrem em solos de relevo plano ou quase plano (0 a 3 % de declive) e com boa permeabilidade. Quando cultivadas por 10 a 20 anos podem apresentar erosão ligeira, que pode ser controlada com práticas simples de manejo.

2 : grau de limitação ligeiro (L) – terras que apresentam pouca suscetibilidade à erosão. Geralmente, possuem boas propriedades físicas, variando os declives de 3 a 8%. Quando utilizadas com lavouras, por um período de 10 a 20 anos, mostram normalmente uma perda de 25 % ou mais do horizonte superficial. Práticas conservacionistas simples podem prevenir contra esse tipo de erosão.

3 : grau de limitação moderado (M) – terras que apresentam moderada suscetibilidade à erosão. Seu relevo é normalmente ondulado, com declive de 8 a 13 %. Esse níveis de

declive podem variar para mais de 13 %, quando as condições físicas forem muito favoráveis, ou para menos de 8 %, quando muito desfavoráveis, como é o caso de solos com horizonte B textural, com mudança textural abrupta. Se utilizadas fora dos princípios conservacionistas, essas terras podem apresentar sulcos e voçorocas, requerendo práticas de controle à erosão desde o início de sua utilização agrícola.

4 : grau de limitação forte (F) – terras que apresentam forte suscetibilidade à erosão. Ocorrem em relevo ondulado a forte ondulado, com declive normalmente de 13 a 20 %, os quais podem ser maiores ou menores, dependendo de suas condições físicas. Na maioria dos casos a prevenção à erosão depende de práticas intensivas de controle.

5 : grau de limitação muito forte (MF) – terras com suscetibilidade maior que a do grau forte, tendo o seu uso agrícola muito restrito. Ocorrem em relevo forte ondulado, com declives entre 20 e 45 %. Na maioria dos casos o controle à erosão é dispendioso, podendo ser antieconômica.

O mapa de solos foi reclassificado desenvolvendo o mapa de deficiência de erodibilidade, classificando grau de limitação nulo para solos dos tipos LR e Hi. Para solos LE₁, foi classificado como grau de limitação ligeiro, grau de limitação moderado para solos do tipo LE₂, o PV foi classificado como grau de limitação forte e, finalmente solos do tipo R foi agrupado como grau de limitação muito forte.

- q : água disponível: Refere-se a água disponível (capacidade de campo menos ponto de murcha permanente), até 120 cm ou espessura efetiva.

1 : superior a 110 mm - **grau de limitação nulo**.

2 : compreendida entre 80 e 110 mm - **grau de limitação ligeiro**.

3 : inferior a 80 mm – grau de limitação moderado.

Com o mapa de água disponível, tanto superficial como subsuperficial, realizou-se a reclassificação e obteve-se o mapa de deficiência de água disponível superficial e subsuperficial. O resultado foi grau de deficiência nulo para água disponível superior a 110 mm. Grau de limitação ligeiro para água disponível entre 80 e 110 mm, e para água disponível inferior a 80 mm, definiu-se a classificação de grau de limitação forte.

Para obter finalmente o mapa de água disponível, foi elaborada uma tabela de julgamento, com os teores de água disponível superficial e subsuperficial, como mostra o Quadro 02 .

Quadro 02- Quadro de julgamento de água disponível superficial e subsuperficial.

Água disponível (mm)			
	Camada superficial	Camada subsuperficial	Grau de limitação
Pobre	< 80	< 80	Forte
	< 80	80 -110	
	< 80	>110	
	>110	< 80	
	80 - 110	<80	
Moderada	80 – 110	> 110	Ligeiro
	> 110	80 - 110	
Boa	> 110	> 110	Nulo

Considerando-se para água disponível boa grau nulo, quando moderada apresentará grau ligeiro e grau de limitação forte quando a água disponível for pobre.

No módulo Analysis / Data Query / Overlay foi feito o cruzamento dos dois mapas, água disponível superficial e subsuperficial, para obter o mapa final de água disponível.

- *i : infiltração*: A taxa de infiltração mínima é próxima do valor da condutividade hidráulica. Intimamente ligada com a permeabilidade.
 - 5 : muito lenta: inferior a 2 mm/h – **grau de limitação muito forte.**
 - 4 : lenta: 2 a 7 mm/h – **grau de limitação forte.**
 - 3 : moderada: 7 a 35 mm/h – **grau de limitação moderado.**
 - 2 : rápida: 35 a 125 mm/h - **grau de limitação ligeiro.**
 - 1 : excessiva: superior a 125 mm/h - **grau de limitação nulo.**

A partir do mapa de condutividade hidráulica, obteve-se o mapa de deficiência de infiltração, classificando os graus de limitação para cada intervalo.

Para obter finalmente o mapa de infiltração, fez-se uma tabela de julgamento, com os teores de infiltração superficial e subsuperficial, como mostra o Quadro 03 .

Considerando grau nulo para infiltração excessiva, ligeiro para boa, moderado para infiltração moderada, forte para pobre e grau de limitação muito forte para infiltração muito pobre.

No módulo Analysis / Data Query / Overlay foi feito o cruzamento dos dois mapas, infiltração superficial e subsuperficial, para obter o mapa final de infiltração.

Quadro 03- Quadro de julgamento de infiltração superficial e subsuperficial.

Infiltração (mm/h)			
	Camada superficial	Camada subsuperficial	Grau de limitação
Excessiva	excessiva	excessiva	Nulo
Boa	rápida	moderada	Ligeiro
Moderada	moderada	rápida	Moderado
	moderada	moderada	
Pobre	rápida	lenta	Forte
	moderada	lenta	
	lenta	rápida	
Muito pobre	lenta	moderada	Muito forte
	lenta	lenta	

- *p* : permeabilidade:

5 : muito lenta: inferior a 1 mm/h – grau de limitação muito forte.

4 : lenta: 1 a 5 mm/h – grau de limitação forte.

3 : moderada lenta: 5 a 20 mm/h – grau de limitação moderado.

1 : moderada: 20 a 64 mm/h - grau de limitação nulo.

3 : moderada rápida: 64 a 127 mm/h – grau de limitação moderado.

4 : rápida: 127 a 254 mm/h – grau de limitação forte.

5 : excessiva: superior a 254 mm/h – grau de limitação muito forte.

Com o mapa de permeabilidade subsuperficial e superficial, obteve-se o mapa de deficiência por permeabilidade, tanto subsuperficial e superficial, quando avaliado esta característica solo. A partir dos limites dos intervalos pôde-se reclassificar o mapa inicial e obter-se o mapa resultante da deficiência por permeabilidade e, assim, agrupá-los conforme cada grau de limitação. Realizado no módulo para reclassificar mapas, no SIG IDRISI, conforme ocorrido nos mapas anteriores.

Para obter finalmente o mapa de permeabilidade, fez-se uma tabela de julgamento, com os teores de permeabilidade superficial e subsuperficial, como mostra o Quadro 04 .

Quadro 04- Quadro de julgamento de permeabilidade superficial e subsuperficial.

Permeabilidade (mm/h)			
	Camada superficial	Camada subsuperficial	Grau de limitação
Muito rápida	excessiva	excessiva	Nulo
Rápida	rápida	moderada	Ligeiro
Moderada	moderada	rápida	Moderado
	moderada	moderada	
	Moderada rápida	moderada	
Lenta	rápida	lenta	Forte
	moderada	lenta	
	lenta	rápida	
	Moderada lenta	lenta	
Muito lenta	lenta	moderada	Muito forte
	lenta	lenta	
	Moderada lenta	Moderada lenta	

Considerando grau nulo para permeabilidade muito rápida, ligeiro para rápida, moderado para permeabilidade moderada, forte para lenta e grau de limitação muito forte para permeabilidade muito lenta.

No módulo Analysis / Data Query / Overlay foi feito o cruzamento dos dois mapas, permeabilidade superficial e subsuperficial, para obter o mapa final de permeabilidade.

- x : pedregosidade: refere-se a presença de pedras à superfície ou nos horizontes superficiais, que limitam a utilização de máquinas e implementos agrícolas.

1 : pedregosidade ocupando menos de 0,1 % da superfície do terreno - **grau de limitação nulo**.

2 : pedregosidade compreendida entre 0,1 a 3 % - **grau de limitação ligeiro**.

3 : pedregosidade compreendida entre 3 a 15 % - **grau de limitação moderado**.

4 : pedregosidade superior a 15 % - **grau de limitação forte**.

Os solos do tipo LR, LE₁, LE₂ e Hi foram reclassificados como grau de limitação nulo. PV como grau de limitação ligeiro e solos do tipo R foi reclassificado como grau de limitação forte.

- y : fertilidade: é avaliada através da disponibilidade de nutrientes, acidez, bases trocáveis, saturação de bases e alumínio.

1 : Boa - **grau de limitação nulo**:

CTC :superior a 8meq/100g;

V: superior a 50%;

S: superior a 4 meq/100g;

Al^{3+} : inferior a 0,3 meq/100g;

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$: superior a 3 meq/100g;

K: superior a 0,35 meq/100cm³;

P: superior a 30 ppm.

2 : Regular - grau de limitação ligeiro:

CTC :6 a 8meq/100g;

V: 35 a 50%;

S: inferior a 4 meq/100g;

Al^{3+} : 0,3 a 1,5 meq/100g;

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$: inferior a 3,0 meq/100g;

K: 0,12 a 0,35 meq/100cm³;

P: 10 a 30 ppm.

3 : Baixa – grau de limitação moderado:

CTC :4 a 6 meq/100g;

V: inferior a 35 %;

S: inferior a 3 meq/100g;

Al^{3+} : 1,5 a 4,0 meq/100g;

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$: inferior a 2,0 meq/100g;

K: inferior a 0,12 meq/100cm³;

P: inferior a 10 ppm.

4 : Muito Baixa – grau de limitação forte:

CTC: inferior a 4 meq/100g;

V: inferior a 35 %;

S: inferior a 3 meq/100g;

Al³⁺: superior a 4,0 meq/100g;

Ca²⁺ + Mg²⁺: inferior a 2,0 meq/100g;

K: inferior a 0,12 meq/100cm³;

P: inferior a 10 ppm.

Para se obter o mapa de deficiência por fertilidade, avaliando-se as características do solo, fez-se necessário desenvolver o mapa de cada atributo em estudo. Como por exemplo, o mapa de CTC foi reclassificado de acordo com as classes da fertilidade, ou seja, boa, regular, baixa e muito baixa. Para isto, foi necessário reclassificá-lo no módulo Analysis / Database Query / Reclass adotando valores para os identificadores conforme as classes de fertilidade.

Os mapas de Ca + Mg foi desenvolvido a partir do mapa de Ca e do mapa de Mg que já confeccionados anteriormente. Foi então procedida a soma dos mapas, a partir do módulo Analysis / Database Query / Overlay, resultando no mapa de Ca + Mg. O mesmo foi feito para obter o mapa de S (soma das bases), que então resultou da soma dos mapas de Ca, de Mg e mais o mapa de K.

Após ter reclassificado os mapas de todos os atributos de fertilidade como, CTC, V%, S (Ca + Mg + k), Al, Ca+Mg, K e P, de acordo com as classes de fertilidade, foi feito então o cruzamento entre esses mapas, no módulo Analysis / Database Query / Overlay. Para realizar esse cruzamento, foi feito anteriormente, uma tabela de julgamento de

todas as possibilidades dos resultados dos cruzamentos, para assim saber a classe que cada região iria pertencer.

Tendo a classe muito baixa como fator limitante é certo, então, que uma área sendo classificada na classe muito baixa em um parâmetro, quando cruzada com outro parâmetro classificado em qualquer outra classe, iria resultar em uma área de classe muito baixa.

Para realizar os cruzamentos de sete mapas, distribuídos em até quatro classes cada mapa, foi feito o cruzamento de dois em dois mapas, que é o permitido pelo SIG IDRISI 32. Finalmente foram cruzados os resultados finais até a obtenção do mapa final de fertilidade.

5.3.8.5- Uso Atual da Terra

Símbolos para uso da terra são auto-explicativos e correspondem a um meio de determinar as condições atuais de cultivo (Carter, 1993). Os símbolos que se seguem são convencionais no oeste dos Estados Unidos; porém, outros podem ser desenvolvidos para corresponder às características da área estudada:

- C = área cultivada sob irrigação;
- P = área com pastagens permanentes irrigadas;
- L = área cultivada não irrigada;
- G = área com pastagens permanentes não irrigadas;
- B = caatinga, capoeira ou mata;

- H = urbano ou imóveis rurais;
- W = vazadouro;
- Row = faixa de domínio.

Estes símbolos podem ser alterados pela identificação das culturas ou outras formas próprias de uso da terra (Curi et al., 1987).

O mapa de uso atual da terra foi elaborado através da interpretação de imagem de satélite Landsat 5/TM em formato digital, captada pelo satélite no dia 18 de setembro de 1999.

A partir da imagem de satélite, a área de estudo foi delimitada, como mostra a Figura 08 , para a realização da classificação supervisionada do uso atual da terra.

O método de classificação é dito supervisionado quando existe um conhecimento prévio de algumas áreas em que se deseja trabalhar, o que permite a seleção de amostras de treinamento confiáveis (Venturieri et al., 1998). Foi feita uma visita na área para verificar, atualizar e comparar o uso atual da terra com o que a imagem reflete, obtendo-se assim um conhecimento prévio da área de trabalho.

Fez-se, então, a partir da ferramenta digitize no SIG IDRISI 32, a digitalização de cada cultura, no formato polígono. Após terminado a digitalização de todas as culturas e, para cada cultura obtido um identificador correspondente, foram processadas as assinaturas, no módulo Analysis / Image Processing / Signature Development / Makesig. Nesse estágio foi necessário a separação das bandas da imagem, em vermelha, verde e azul, sendo realizado no software Adobe Photoshop. Em ambiente SIG IDRISI, recortou-se cada banda abrangendo a área em estudo. Isto foi feito no módulo Reformat / Window, e então foi visualizada cada banda separada da área, escolhida a palheta grey 256 para obter melhor

visualização.

Para finalizar o processo de classificação da imagem, utilizou-se o módulo Analysis / Image Processing / Hard Classifiers / Maxlike.

Recortou-se então, a área em estudo, ou seja, o limite de interesse, uma vez que obtinha toda a imagem classificada. Após, no módulo Analysis / Database Query / Overlay, multiplicou a imagem classificada versus o limite da área no formato raster.

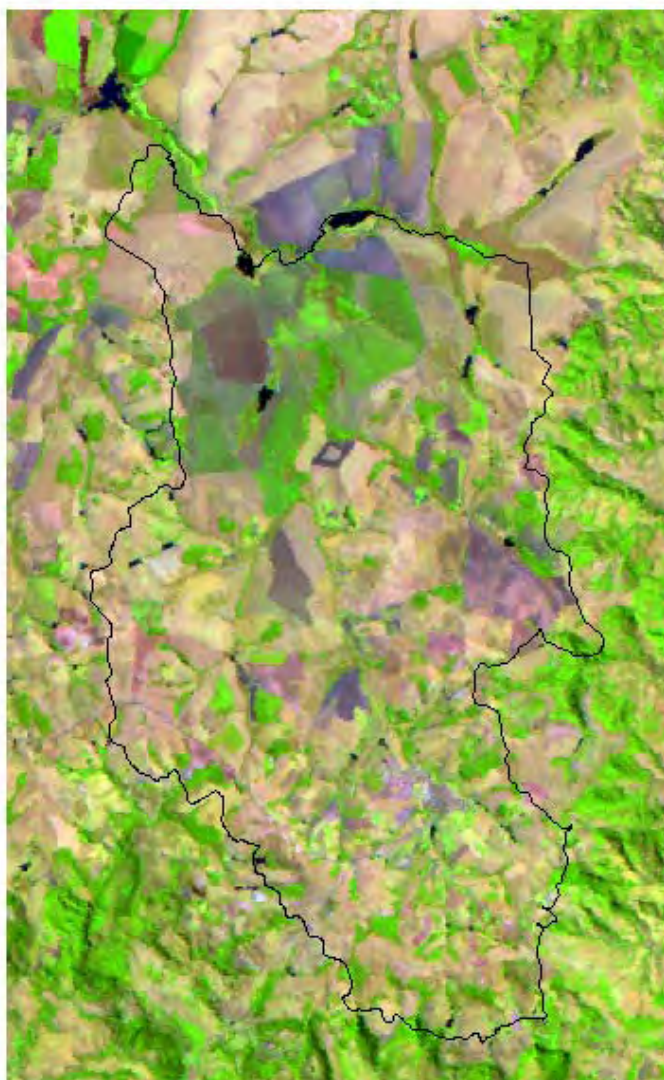


Figura 08 – Imagem de satélite Landsat 5/TM em formato digital, após a localização da área de estudo.

5.3.8.6- Produtividade

Produtividade é o efeito combinado da capacidade produtiva de uma parcela de terra específica e dos custos de produção desta (Carter, 1993).

Este termo substitui fertilidade aparente e refere-se à sua maior ou menor riqueza e disponibilidade equilibrada de nutrientes às plantas.

Até cinco níveis de produtividade podem ser distinguidos e classificados (Lepsch, 1991): muito alta, alta, média, baixa e muito baixa, sendo os seguintes parâmetros: pH, CTC, V%, P, Mg e K, Al e Ca devem ser avaliados.

Medidas de produtividade 1, 2, 3, 4 ou 6 podem ser usadas na simbologia para o nível de classe e terras para irrigação deste fator.

O Quadro 5 mostra como as classes foram definidas, de acordo com os parâmetros avaliados, tendo como resultado os diferentes níveis da produtividade aparente.

Para analisar a produtividade, obteve-se primeiramente cada mapa de cada atributo estudado, ou seja, mapa de pH, CTC, V, P, Mg, k, Ca e Al, reclassificados de acordo com o limite de cada classe, muito alta, alta, média, baixa ou muito baixa. Isto foi realizado no módulo Analysis / Data Query / Reclass.

Após obtenção de cada mapa reclassificado, de acordo com a classificação de produtividade, fez-se então o cruzamento desses mapas entre si.

Quadro 5 – Níveis de produtividade utilizado na simbologia para classificação de terras para irrigação, medidos a partir de parâmetros avaliados nos solo (Zimback & Rodrigues, 1993).

Na fórmula:	Produtividade aparente				
	1	2	3	4	6
Classificação:	Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
pH (CaCl ₂)	>6.0	5.6 - 6.0	5.1 - 5.5	4.4 - 5.0	≤ 4.3
CTC(meq/100g)		>10.0	5.0 - 10.0	<5.0	
V (%)	>90	71 - 90	51 - 70	26 - 50	≤ 25
P (ppm)	>80	41 - 80	16 - 40	7 - 15	≤ 6
Mg (meq/100g)		>0.8	0.5 - 0.8	<0.4	
K (meq/100cm ³)	>0.60	0.31 - 0.60	0.16 - 0.30	0.08 - 0.15	≤ 0.07
Ca (meq/100mg)		> 0.7	0.3 – 0.7	< 0.3	
Al (meq/100g)		> 0.5		< 0.5	

Para isso, para cada atributo, fez-se um mapa somente com cada nível representativo da classe de produtividade, ou seja, quando estudado o mapa de pH, obteve-se um mapa com níveis médio, baixo e muito baixo, fez-se então, um mapa somente com o nível médio, outro mapa com o nível baixo, e outro mapa somente com o nível muito baixo. Multiplicou-se o mapa de pH, de cada nível, com CTC, no módulo Analysis / Data Query / Overlay e, observando-se o resultado pode-se avaliar, pelas tabelas de julgamentos já existentes com os possíveis resultados encontrados desse cruzamento, em que classe é englobada pelo cruzamento do nível estudado de pH X CTC. Tendo a classe muito baixa como fator limitante, é certo então, que se um mapa contendo a classe muito baixa, quando cruzado com outro mapa com qualquer outra classe, iria resultar na classe muito baixa. Ao final de

conhecer cada classe a qual pertence o cruzamento de pH X CTC, somou-se todos os mapas de pH X CTC, obtendo um mapa pH X CTC.

Separando-se os níveis dos mapas pôde-se facilitar a confecção dos resultados e para poder classificá-los a partir dos mapas cruzados dois a dois.

Iniciou-se o cruzamento de dois mapas entre si, para posteriormente cruzamento dos resultados obtidos. Cruzou-se os mapas de pH X CTC, V X P, K X Mg e Ca X Al. Após a elaboração de todos os cruzamentos possíveis, dois a dois, multiplicou-se os resultados encontrados dos cruzamentos e com novas tabelas com os possíveis resultados desses cruzamentos. Obteve-se então, um mapa final representativo da produtividade em estudo.

5.3.8.7- Custo de Desenvolvimento da Terra

Conforme Carter (1993), o desenvolvimento da terra é a preparação necessária da mesma à irrigação, na forma de melhoramentos relativamente permanentes. Este desenvolvimento é representado por uma gama de custos ou investimentos no melhoramentos das terras, necessários à obtenção da produtividade estimada. Os requerimentos para desenvolvimento de terras, como a produtividade, recebem valores de 1, 2, 3, 4 ou 6.

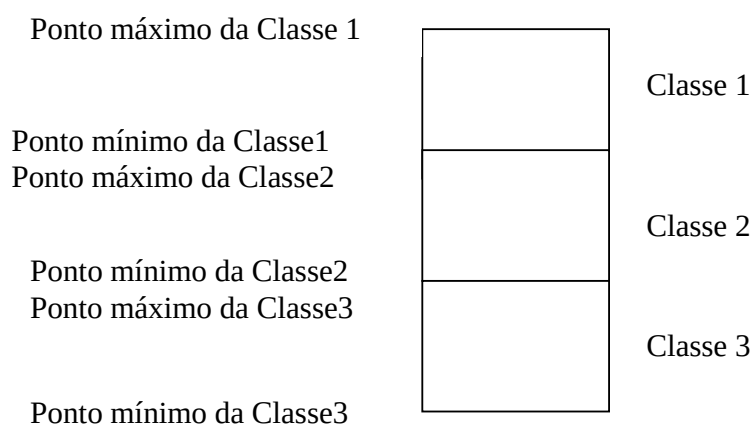
Segundo o mesmo autor, a classificação econômica de terra é um sistema de classificação que foi desenvolvido para a implementação e a operação de projetos de irrigação. Este método consiste em agrupar terras com características físicas distintas, em classes semelhantes de capacidade de reembolso dos custos dos projetos ou classes

econômicas. O objetivo da classificação de terras, na fase de planejamento de projetos de irrigação, é verificar se as terras selecionadas para os projetos são aptas à irrigação continuativa, e testar sua capacidade de pagar os custos parcelares de operação, inclusive a água do projeto, ainda fornecendo retornos razoáveis aos fatores de produção da família agrícola, tais como o gerenciamento, a mão-de-obra e o capital.

Parâmetros econômicos devem ser identificados em valores monetários disponíveis, por hectare, para desenvolvimento de terras, ou, em outras palavras, a quantidade de recursos financeiros disponíveis para corrigir deficiências corrigíveis. Estes parâmetros devem ser estabelecidos em quatro níveis:

- o ponto máximo das terras da Classe 1;
- o limite entre as terras das Classes 1 e 2;
- o limite entre as terras das Classes 2 e 3;
- o ponto mínimo das terras da Classe 3.

A seguir, apresenta-se uma demonstração gráfica desses níveis:



O ponto máximo da Classe 1 representa as melhores terras do projeto. É de se esperar que estas tenham apenas pequenas deficiências ou não possuam nenhuma,

requerendo, assim, um custo mínimo para desenvolvimento.

O ponto mínimo da Classe 3 representa as piores terras que poderiam receber irrigação no projeto. Esse ponto é identificado, através do processo de orçamento, como a terra mais pobre que produziria, pelo menos, um rendimento parcelar suficiente para fornecer um determinado retorno à família agrícola e pagar a mínima tarifa de água cobrada pelo irrigante.

Segundo Carter (1993), devem ser feitos orçamentos parcelares pelo menos para esse dois pontos. Nos estudos de reconhecimento e nos estágios iniciais dos estudos semidetalhados e detalhados, estes serão freqüentemente os únicos ponto orçados. Os outros dois pontos (o limite entre as Classes 1 e 2 e o limite entre as Classes 2 e 3) devem ser estabelecidos por interpolação. Os outros dois pontos devem ser calculados partindo-se da premissa de que o limite entre as Classes 1 e 2 eqüivale a 66,66% do total da Classe 1 e o limite entre as Classes 2 e 3, a 33,33%.

Juntamente com a Casa da Agricultura do município de Pardinho –SP, foi realizado um levantamento para obtenção do resumo de renda e das despesas para se calcular o orçamento parcelar, como mostra o Apêndice 01 (Carter, 1993), realizado junto aos produtores rurais da região.

Os orçamentos foram utilizados como meio para o cálculo do valor restante, após a dedução das despesas com a produção parcelar e dos retornos à família agrícola pela mão-de-obra, gerenciamento e capital.

Após efetuados os cálculos, obteve-se, então, o valor resultante do processo de orçamento, denominado de “Saldo para Desenvolvimento da Terra”. Este valor representa a quantia anual, disponível para desenvolvimento de terras que requerem mais do

que o mínimo utilizado nos orçamentos parcelares. Este valor anual foi capitalizado em 30 anos, à taxa de 0,5 % ao mês, determinar-se o capital que será usado para o desenvolvimento. Este valor capitalizado é a base para a determinação dos parâmetros econômicos, como mostra o Quadro 06.

Quadro 06 – Resultado do Orçamento Parcelar.

Ponto das classes	Renda parcelar líquida remanescente o desenvolvimento da terra por hectare	
	Anual	Capitalizado
Ponto máximo da Classe 1	157.040,00	439.9712,00
Ponto mínimo da Classe 1 = Ponto máximo da Classe 2	104.680,00	293.104,00
Ponto mínimo da Classe 2 = Ponto máximo da Classe 3	52.340,00	146.552,00
Ponto mínimo da Classe 3	1.315,00	3.682,00

Os valores capitalizados foram calculados pela expressão 09, como mostra abaixo.

$$M = C * (1 + i * t) \quad (09)$$

onde,

M = Montante, R\$;

C = Capital, R\$;

i = taxa de juros, 0,5 % ao mês, num período de 12 meses;

t = tempo, anos.

Utilizando-se esses valores capitalizados, calculou-se os intervalos dos

custos de habilitação, por classe de terra, ilustrado no Quadro 07. Esses são os valores a serem incluídos nas especificações para classificação de terras, como parâmetros econômicos, em conjunto com os parâmetros físicos, para determinar a classe geral das terras.

Quadro 07 – Especificações Econômicas da Terra

Classe final de Terra	Limite para o desenvolvimento da terra atingir o potencial de produtividade		
	Potencial de produtividade		
	Nível 1 (R\$)	Nível 2 (R\$)	Nível 3 (R\$)
1	0 – 146.608,00	N/A	N/A
2	146.609,00 – 293.160,00	0 – 146.552,00	N/A
3	293.161,00 – 436.030,00	146.553,00 – 289.422,00	0 – 142.870,00
4	436.031,00 – 439.712,00	289.423,00 – 293.104,00	142.871,00 – 146.552,00
Não arável	Acima de 439.712,00	Acima de 293.104,00	Acima de 146.552,00

N/A = não aplicável

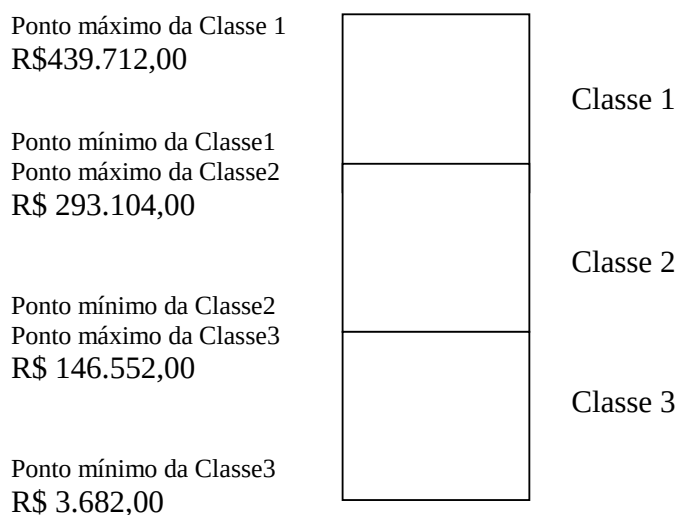
O valor R\$ 146.608,00 foi calculado como R\$ 439.712,00 menos R\$ 293.104,00. O valor R\$ 293.160,00 foi calculado como R\$ 439.712,00 menos 146.552,00. O valor R\$ 436.030,00 foi calculado como R\$ 439.712,00 menos 3.682,00 e o valor R\$ 146.552,00 foi calculado como R\$ 293.104,00 menos R\$ 146.552,00, e assim sucessivamente.

As terras com um potencial de rendimento nível 1 (terra sem deficiências não corrigíveis ou com deficiências mínimas, isto é, textura do solo, profundidade, química, etc.) permanecem como Classe 1 se os custos estimados para desenvolvimento estiverem dentro do intervalo 0 – R\$ 146.608,00 por hectare. Se os custos de desenvolvimento de terras com potencial de rendimento de nível 1 situou entre R\$ 146.609,00 – 293.160,00 por hectare, estas foram classificadas como Classe 2, caso tais custos

estejam na faixa de R\$ 293.161,00 – 436.030,00 por hectare, estas foram classificadas como Classe 3 e, por fim, quando se os custos para desenvolvimento da terra estiverem na faixa de R\$ 436.031,00 – 439.712,00 por hectare, estas terras foram classificadas com Classe 4. As terras com um potencial de rendimento de nível 1, para as quais os custos de habilitação excedam R\$ 439.712,00, foram classificadas como não aráveis. Isso significa que, quando as deficiências corrigíveis tiverem sido corrigidas, estas terras poderão ter produtividade de Classe 1, mas quando os custos dessas correções excederem os parâmetros estabelecidos para a Classe 1, tais terras devem ser rebaixadas a uma classe inferior.

Os mesmos princípios são aplicáveis às terras que possuem deficiências não corrigíveis ou potencial de produtividade de nível 2 e 3.

A partir dos orçamentos parcelares executados pode-se observar, como mostra o esquema a seguir, a demonstração gráfica dos limites das classes.



Contendo as coordenadas UTM e as classes de terras correspondente dos locais amostrados para desenvolver o custo de desenvolvimento da terra, foram colocados em uma planilha eletrônica no Excel e exportados no formato txt para o SIG IDRISI 32, através do módulo File / Import / Software Specific-Formats / XYZIDRIS. Esse arquivo foi

analisado geoestatisticamente e, não sendo detectada a dependência espacial entre os dados, conseqüentemente não sendo indicada a Krigagem, então, os dados foram interpolados pelo interpolador Interpol, através do módulo Analysis / Surface Analysis / Interpolation / Interpol. Foi feito o cruzamento com o limite da área, obtendo-se a Microbacia classificada nas classes de terras correspondente a renda remanescente o desenvolvimento da terra por hectare.

5.3.8.8- Necessidade de Água

Este item leva em consideração a estimativa de consumo de água nas terras a serem irrigadas. A avaliação das exigências de água faz-se tendo em conta características do solo (água disponível e condutividade hidráulica).

Serão avaliadas as seguintes características nos limites que se seguem no Quadro 08, segundo Curi et al. (1987).

Quadro 08 – Limites para classificar necessidade de água.

Necessidade de água			
Classificação:	Alta	Média	Baixa
Na fórmula:	C	B	A
Água disponível ($Cc - Pmp$)	< 80 mm	80-110 mm	> 110 mm
Condutividade Hidráulica	>150 mm/h	5,0-150 mm/h	< 5,0 mm/h

Para resultar o mapa de necessidade de água da área em estudo, fez-se necessário, também, confeccionar tabelas contendo os possíveis resultados dos cruzamentos dos parâmetros, água disponível X condutividade hidráulica. Para isto, para cada nível

avaliado adotou um identificador, ou seja, 3 para alta, 2 para média e 1 para baixa. E assim, classificaram-se os mapas de acordo com cada identificador. Foi utilizado o módulo Analysis / Data Query / Reclass para a classificação. Como o parâmetro água disponível somente se encontrava no nível alto, obteve-se um mapa somente com o identificador 3. Tendo a classe baixa como fator limitante, é certo então, que se um mapa contendo a classe baixa, foi cruzado com outro mapa com qualquer outra classe, irá resultar sempre na classe baixa.

Tendo em mãos os mapas de Água disponível superficial e subsuperficial (Quadro 02) foi elaborado o mapa de Água disponível.

Para Condutividade hidráulica superficial e subsuperficial foi utilizado os parâmetros do Quadro 09 para a avaliação e confecção do mapa de Condutividade hidráulica.

Quadro 09- Quadro de julgamento condutividade hidráulica superficial e subsuperficial.

Condutividade hidráulica (mm/h)		
	Camada superficial	Camada subsuperficial
Lenta	< 5	< 5
	< 5	5 - 150
	< 5	>150
	5 – 150	< 5
	> 150	> 5
Moderada	5 - 150	> 150
	> 150	5 -150
Rápida	> 150	> 150

5.3.8.9- Drenabilidade

De acordo com Curi et al. (1987), a avaliação consiste numa estimativa da drenabilidade interna da terra, levando em conta os fatores físicos e químicos que contribuem para a velocidade do movimento da água através do solo, subsolo e substratos previstos na irrigação.

Pode-se agrupar as características físicas e químicas do solo que contribuem para a avaliação do fator drenabilidade, de acordo com os fatores avaliados por Lepsch et al. (1991) e Arevalo et al. (1990), como mostrado no Quadro 10.

Quadro 10 – Limites para classificar drenabilidade.

Drenabilidade			
Classificação:	Boa	Restrita	Pobre
Na fórmula:	X	Y	Z
Forma do relevo	Convexo	Plano	Côncavo
Declividade	>1	1 a 0,5	< 0,5
Permeabilidade	rápida	moderada	lenta
K ₀ (mm/h)	>150	5-150	<5
Macroporosidade (%)	>20	20 a 10	<10
Profundidade LF (épocas das chuvas, mm)			
textura arenosa	>80	80 a 40	<40
textura média	>120	120 a 60	<60
textura argilosa	>100	100 a 50	<50

Para a obtenção do mapa de drenabilidade, a partir dos mapas de cada parâmetro, como, forma do relevo, declividade, permeabilidade superficial e subsuperficial,

condutividade hidráulica superficial e subsuperficial, macroporosidade superficial e subsuperficial e profundidade do lençol freático, foram elaborados os cruzamentos e, assim, obtido um mapa resultante de drenabilidade superficial e subsuperficial.

O mapa de solos e as classes de declive da área de estudo (Zimback, 1997) foram vetorizados no SIG IDRISI 32, para a obtenção do mapa de forma do relevo.

O mapa de macroporosidade foi confeccionado através da classificação, conforme mostra o Quadro 11.

Quadro 11 – Quadro de julgamento de macroporosidade superficial e subsuperficial.

Macroporosidade (%)		
	Camada superficial	Camada subsuperficial
Pobre	< 10	< 10
	< 10	10 - 20
	< 10	> 20
	10 - 20	< 10
	> 20	< 10
Restrita	10 - 20	> 20
	> 20	10 - 20
Boa	> 20	> 20

O mapa de profundidade de lençol freático, um dos parâmetros estudado para classificar terras para irrigação quanto a drenabilidade, foi calculado através da equação desenvolvida por Simões (2000), onde foi relacionada a distância da rede de drenagem com a profundidade do lençol freático, definida pela equação 10.

$$\text{prof} = 14,0722866e^{(-e^{(0,8702206 - 2,9972467\text{dist})})} \quad (10)$$

onde,

prof = profundidade do lençol freático, em metros.

dist = distância da rede de drenagem, em quilômetros.

Com o mapa de rede de drenagem georreferenciado, foi feita a transformação para raster, no módulo Data Entry / Initial e em seguida no módulo Reformat / Raster / Vector Conversion / Lineras. Pode-se, então, calcular a distância de cada rede de drenagem, através do módulo Analysis / Distance Operators / Distance. Como as distâncias estão originalmente na unidade metros, foram transformadas para quilômetros, que é a unidade requerida pela equação da profundidade do lençol freático. Para isso, foi necessário utilizar o módulo Analysis / Data Query / Image Calculator e efetuada a transformação de metros para quilômetros, ou seja, dividindo-se os dados por 1000. Tendo em mãos o mapa das distâncias das redes de drenagem, em quilômetros, pôde-se, então, calcular a profundidade do lençol freático, a partir da equação desenvolvida. Obtendo-se o mapa das distâncias das redes de drenagem, em quilômetros, no módulo Analysis / Data Query / Image Calculator, inseriu-se a equação e, assim, resultando no mapa da profundidade do lençol freático, em metros. Para a análise desse parâmetro na classificação de terras, é requerida a profundidade do lençol freático em milímetros, então multiplicou-se o resultado obtido por 1000. Então, finalmente, cruzou-se o mapa resultante com o limite da área em estudo, através do módulo Analysis / Data Query / Overlay.

Fez-se, também, a classificação para as classes de declive obtendo o mapa de declividade. Com a imagem contendo valores de altitude, foi possível calcular as respectivas declividades. O módulo que realiza esse cálculo é o Analysis / Context Operators / Surface.

As classes de declive determinadas para fins de drenabilidade para classificação de terras para irrigação são: menor que 0,5 %, de 0,5 a 1,0 % e maior que 1,0 % (Arevalo et al., 1990).

Com a obtenção do mapa de cada parâmetro foi elaborado a reclassificação de acordo com as classes de drenabilidade, nos níveis boa, restrita e pobre (Quadro 10), no módulo Analysis / Data Query / Reclass. Após, foi efetuado o cruzamento dos parâmetros entre si.

Fez-se o cruzamento de dois em dois parâmetros. Multiplicou-se então forma do relevo X declividade, permeabilidade superficial X condutividade superficial, permeabilidade subsuperficial X condutividade subsuperficial, macroporosidade superficial X profundidade do lençol freático e macroporosidade subsuperficial X profundidade do lençol freático. Os cruzamentos foram realizados no módulo Analysis / Data Query / Overlay.

Quando avaliado o fator profundidade do lençol freático, fez-se também a avaliação da textura, e conforme Quadro 09 pôde-se observar que, conforme a textura obteve-se um limite para classificar a profundidade do lençol freático. Para as três texturas argilosa, média e arenosa, a drenabilidade foi classificada como boa. Obtevendo-se um mapa de profundidade do lençol freático com apenas a classe boa.

Após efetuado o cruzamento de dois em dois mapas, cruzou-se os três resultados obtidos e, assim, resultando em um único mapa de drenabilidade. Todos os cruzamentos foram realizados no módulo Analysis / Data Query / Overlay do SIG IDRISI 32.

5.3.8.10- Tabelas de julgamento.

De acordo com as tabelas de julgamento confeccionadas, foi procedida a classificação de cada área em sua respectiva classe de terra para irrigação.

Os Quadros de Julgamentos, 12, 13 e 14, referentes a topografia, drenagem e solo, descrevem os principais parâmetros levados em consideração para a determinação das classes.

Quadro 12 – Quadro de julgamento sobre as especificações dos problemas de topografia, dentro do esquema de classificação de terras para irrigação, adaptado do “US Bureau of Reclamation, 1953 (Curi et al., 1987).

TOPOGRAFIA (t)				
Classe	Topografia(g)	Nivelamento(u)	Rochosidade(r)	Cobertura Vegetal (c)
1	Plano	Nula ou pequena	< 2%	Baixo custo
2	Suave ondulado	Média	2 – 10%	Médio custo
3	Ondulado	Alta	10 – 25%	Alto custo
4	Forte ondulado	_____	> 25%	_____
6	Montanhoso	_____	_____	_____

Quadro 13– Quadro de julgamento sobre as especificações dos problemas de drenagem, dentro do esquema de classificação de terras para irrigação, adaptado do “US Bureau of Reclamation, 1953 (Curi et al., 1987).

DRENAGEM (d)			
Classe	Inundação (f)	Lençol freático (w)	Escoamento difícil (o)
1	Sem risco	Nulo ou ocasional	Nulas a pequenas
2	Ocasionais e curtas	< 3 meses	Médias
3	Periódicas e curtas ou médias: ou anuais curtas	3 – 6 meses	Grandes
4	Periódicas e longas	> 6 meses	Sem possibilidades de escoamento
6	Permanentes	Permanente	_____

Quadro 14 – Quadro de julgamento sobre as especificações dos problemas de solos, dentro do esquema de classificação de terras para irrigação, adaptado do “US Bureau of Reclamation, 1953 (Curi et al., 1987).

SOLO(s)								
Classe	Profundidade Efetiva (k) (cm)	Textura (v, h)	Erodibili- dade (e)	Água disponível (q) (mm)	Infiltração (i) (mm/h)	Permeabi- lidade (p) (mm/h)	Pedregosi- dade (x) (%)	Fertilidade (y)
1	>120	média	Nulo	> 110	> 125	20 a 64	< 0,1	CTC > 8; V > 50; S > 4; Al ³⁺ < 0.3; Ca + Mg > 3; K > 0.35; P > 30.
2	80 – 120 m	ra, r	Ligeiro	80 – 110	35 – 125	5 a 20 64 a 127	0,1 – 3	CTC: 6 - 8; V: 35 - 50; S < 4; Al ³⁺ : 0.3-1.5; Ca + Mg < 3; K: 0.12-0.35; P :10 - 30.
3	40 – 80	af, r	Moderado	< 80	7 – 35	1 a 5 127 a 254	3 – 15	CTC: 4 - 6; V < 35; S < 3; Al ³⁺ : 1.5-4; Ca + Mg < 2; K < 0.12; P < 10.
4	< 40	a, s, r	Forte	_____	2 – 7	< 1 e > 254	> 15	CTC < 4; V < 35; S < 3; Al ³⁺ > 4; Ca + Mg < 2; K < 0.12; P < 10.
6	_____	_____	Muito forte	_____	< 2	_____	_____	_____
f = franco						CTC, S, Al, Ca+Mg (meq/100g)		
a = arenosa						V (%)		
r = argilosa						K (meq/100cm ³)		
s = siltosa								

Com as tabelas de julgamento pôde-se então classificar o mapa final de solo, topografia e drenagem, para classificação de terras para irrigação da área em estudo.

5.3.8.11- Obtendo o mapa de classificação de terras para irrigação.

A partir dos mapas das características que limitam a classificação de terras para irrigação, como declividade, nivelamento, rochosidade, cobertura vegetal, avaliando o fator topografia; inundação, lençol freático, escoamento, para avaliar drenagem; profundidade efetiva, textura, erodibilidade, água disponível, infiltração, permeabilidade, pedregosidade e fertilidade, do solo, foi elaborada a classificação para definir as classes de terras.

No módulo Analysis / Data Query / Overlay, os mapas de cada deficiência foram cruzados entre si e assim resultando no mapa de solo, topografia e drenagem, com as suas respectivas classes. Ainda no mesmo módulo pode-se obter o mapa resultante do cruzamento dos mapas de solos, topografia e drenagem.

Com os mapas de uso atual da terra, produtividade, custo de desenvolvimento da terra, necessidade de água e drenabilidade pôde-se sobrepor esses mapas e obter o mapa resultante, manipulados no módulo Analysis / Data Query / Overlay. Somando esse mapa resultante com o mapa das deficiências, pôde-se obter finalmente o mapa da Microbacia estudada classificado de acordo com a classificação das terras para irrigação.

6- RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1- Distribuição de frequência dos dados

Como todos os dados estatísticos analisados são variáveis contínuas, foi testado a hipótese da normalidade da distribuição pelo teste Y (5% de probabilidade), do método proposto por D'Agostinho, descrito por Parkin & Robinson (1992).

Os teores de pH, V%, %Argila superficial e subsuperficial, AD superficial e subsuperficial, Macroporosidade superficial e k_0 superficial, apresentaram distribuição normal e os demais dados analisados apresentaram distribuição lognormal.

Portanto, os dados do presente estudo concordaram parcialmente com aqueles estudados por Zimback (2001) e Takeda (2000).

6.2- Análise geoestatística

A análise geoestatística, efetuada através do semivariograma, conforme descrito por Journel & Huijbregts, 1978; Isaaks & Srivastava, 1989 e Braga, 1990, no SIG IDRISI 32, mostrou que quase todos os atributos do solo estudado apresentaram dependência espacial, exceto a CTC e Ca.

Para o ajuste dos semivariogramas, o modelo esférico foi o escolhido para pH, V%, Mg, k_0 subsuperficial, Macroporosidade subsuperficial e %Argila subsuperficial. Para k, Al, k_0 superficial, %Argila superficial e AD superficial e subsuperficial, o modelo de melhor ajuste foi o gaussiano. Ajustaram-se bem ao modelo exponencial, o P, a Macroporosidade superficial e dados de curvas de nível.

Os atributos do solo CTC e Ca não foram ajustados a um modelo teórico devido não apresentarem dependência espacial, e sim efeito pepita puro.

Segundo Zimback (2001), a provável causa de nenhuma dependência espacial para os teores de CTC e Ca é devido o material de origem destes solos ser bastante heterogêneo, a escala utilizada para a análise não foi suficientemente pequena para detectar tais variações.

6.2.1- Modelo do semivariograma

As Figuras de 09 a 25 ilustram os semivariogramas ajustados respectivamente aos seguintes atributos: 1) pH, 2) CTC, 3) V%, 4) Mg, 5) K, 6) P, 7) Al, 8) Ca, 9) k_0 superficial, 10) k_0 subsuperficial, 11) AD superficial, 12) AD subsuperficial, 13) %Argila superficial, 14) %Argila subsuperficial, 15) Macroporosidade superficial, 16)

Macroporosidade subsuperficial, e 17) dados de altimetria.

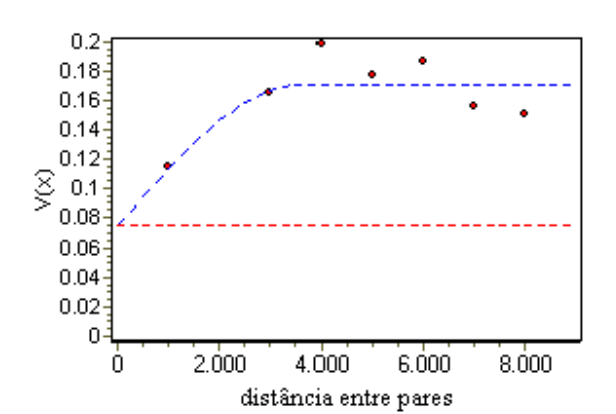


Figura 09 – Semivariograma experimental e teórico para o pH do solo.

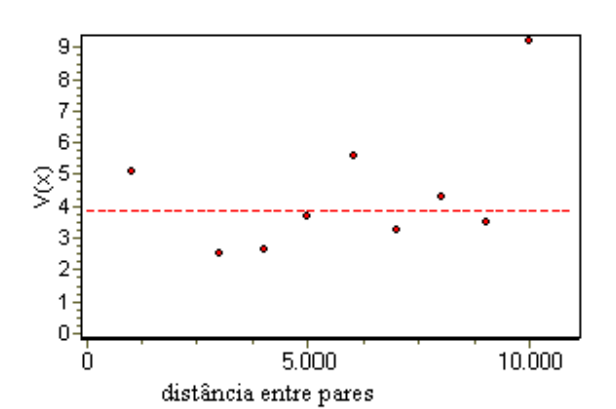


Figura 10 – Semivariograma experimental e teórico para a CTC do solo.

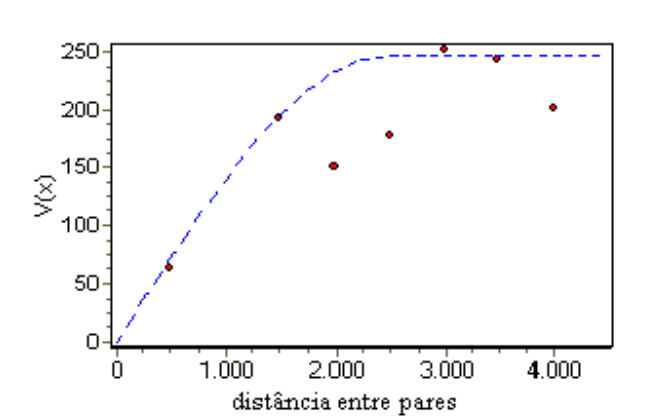


Figura 11 – Semivariograma experimental e teórico para o V% do solo.

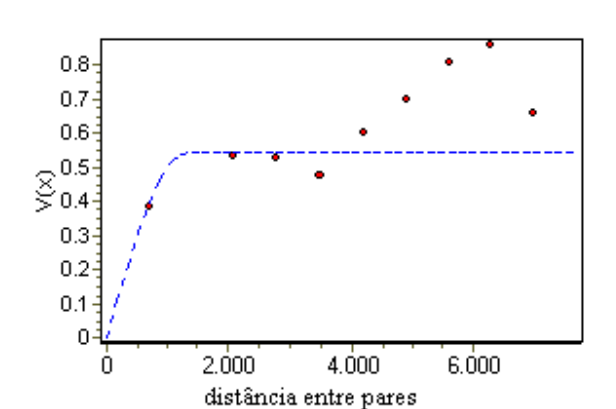


Figura 12 – Semivariograma experimental e teórico para o Mg do solo.

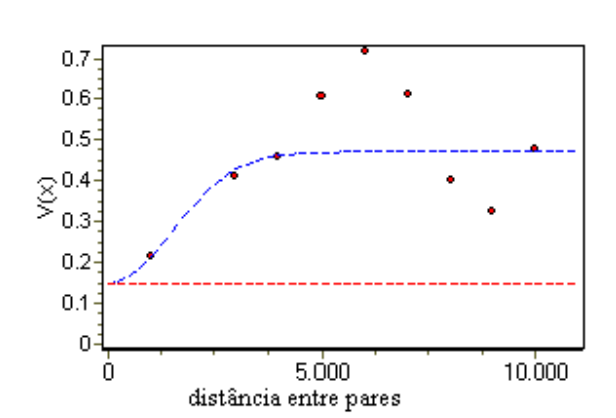


Figura 13– Semivariograma experimental e teórico para o K do solo.

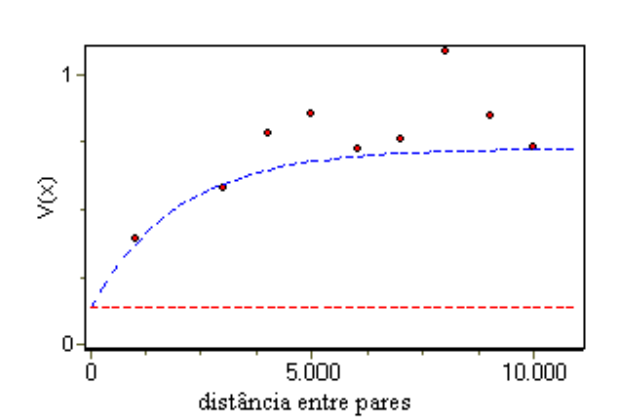


Figura 14 – Semivariograma experimental e teórico para o P do solo.

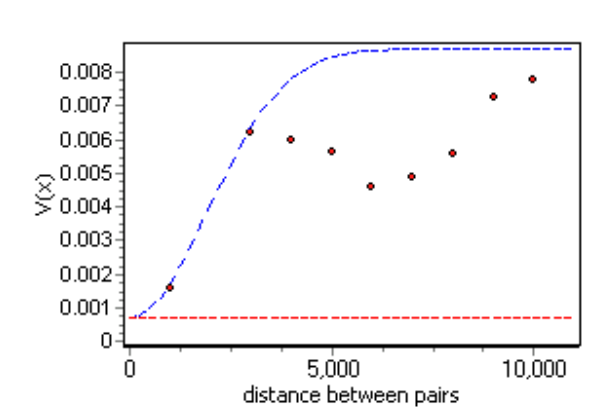


Figura 15 – Semivariograma experimental e teórico para o Al do solo.

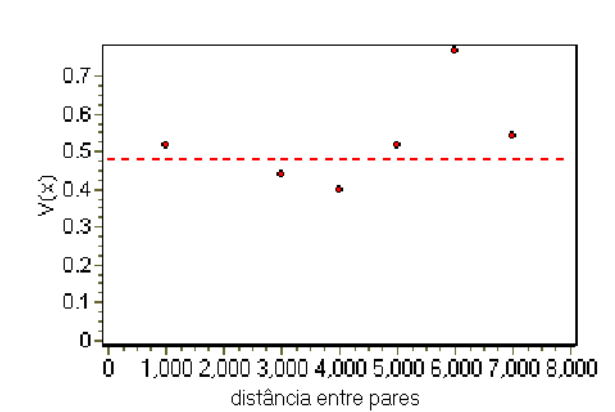


Figura 16 – Semivariograma experimental e teórico para o Ca do solo.

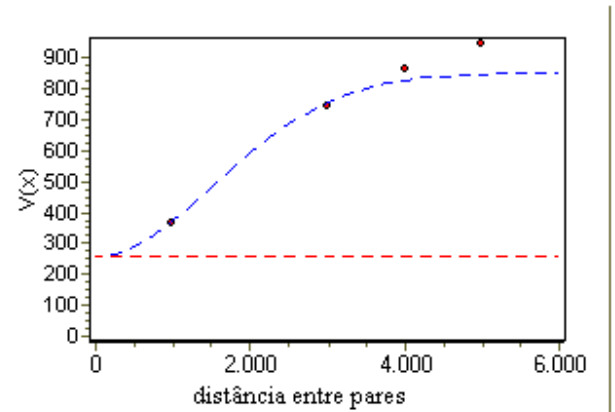


Figura 17 – Semivariograma experimental e teórico para a K_0 superficial do solo.

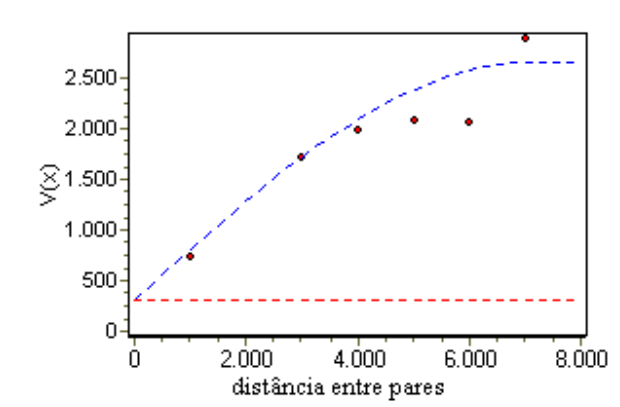


Figura 18 – Semivariograma experimental e teórico para a k_0 subsuperficial do solo.

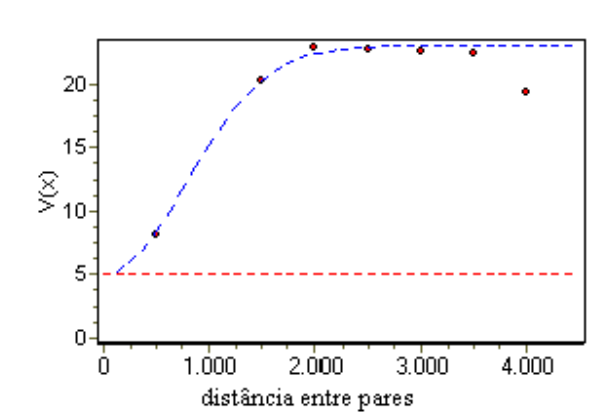


Figura 19 – Semivariograma experimental e teórico para a AD superficial do solo.

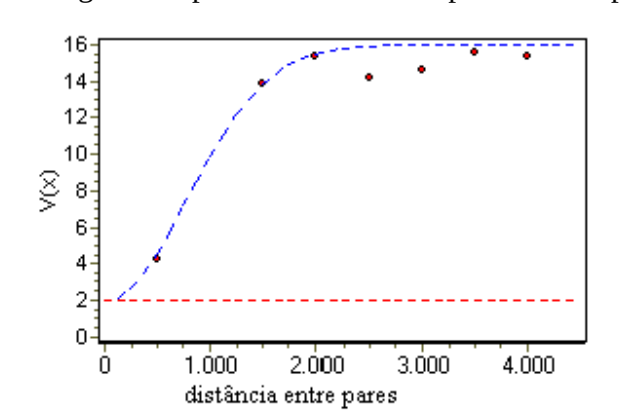


Figura 20 – Semivariograma experimental e teórico para a AD do solo.

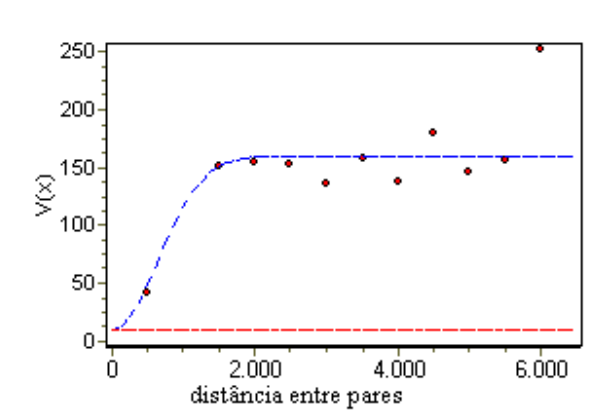


Figura 21 – Semivariograma experimental e teórico para o teor de Argila superficial do solo.

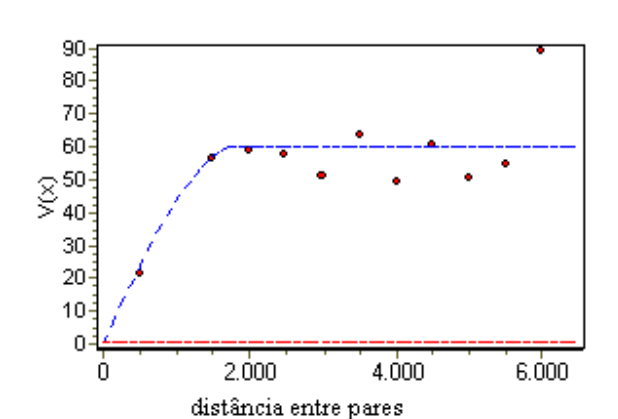


Figura 22 – Semivariograma experimental e teórico para o teor de Argila subsuperficial do solo.

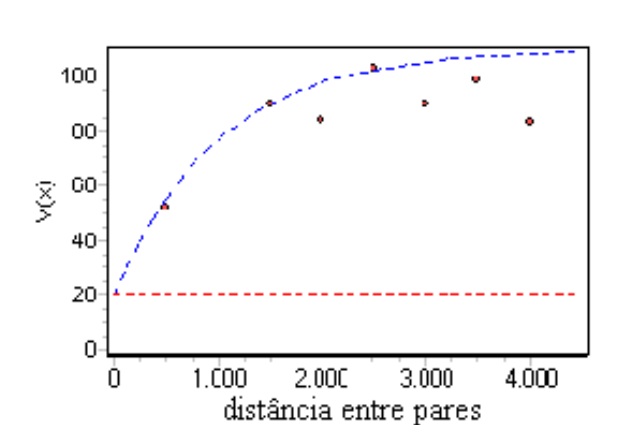


Figura 23 – Semivariograma experimental e teórico para a Macroporosidade superficial do solo.

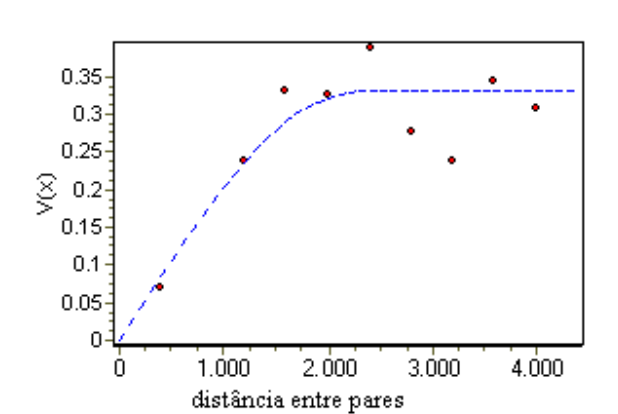


Figura 24 – Semivariograma experimental e teórico para a Macroporosidade subsuperficial do solo.

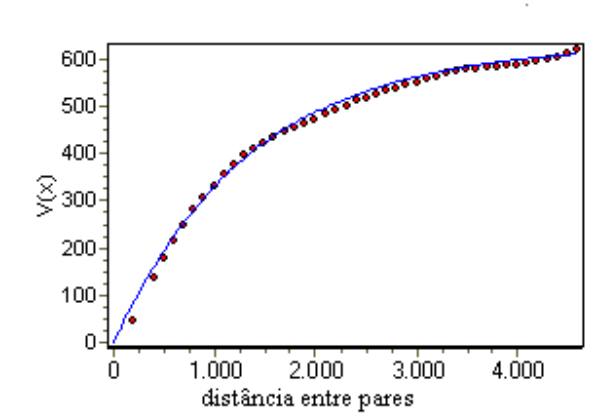


Figura 25 – Semivariograma experimental e teórico para dados de altimetria da área.

6.2.2- Análise do efeito pepita

O efeito pepita é um importante parâmetro do semivariograma que indica a variabilidade não explicada, que pode ser originada dos erros de medição ou de microvariações não detectadas, quando é considerada a distância da amostragem utilizada. (Cambardella et al., 1994). Este parâmetro pode ser expresso como índice relativo porcentual

do patamar, que no atual estudo foi relatado pela equação 03, quando o objetivo for o de facilitar a comparação do grau de dependência espacial das variáveis analisadas. Para possibilitar tais comparações, foi utilizada a classificação do referido autor, em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um indicativo da dependência espacial $(IDE) \leq 25 \%$, de dependência espacial moderada, quando $25 \% < IDE \leq 75 \%$, e de dependência fraca, quando o $IDE > 75\%$.

O Quadro 15 apresenta os parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados para os atributos do solo estudado e o indicativo da dependência espacial.

Quadro 15 – Parâmetros dos semivariogramas dos atributos de solos analisados.

Atributo	Modelo	Co (efeito pepita)	Co + C₁ (patamar)	Alcance (a)	IDE (%)	CDE
pH	esférico	0.075	0.095	3600	79	fraca
V (%)	esférico	2	256	2686	0.78	forte
Mg (meq/100cm ³)	esférico	0.15	0.38	1600	40	moderada
CTC (meq/100cm ³)	_____ (1)	_____	_____	_____	_____	_____
K (meq/100cm ³)	gaussiano	0.15	0.32	2100	75	moderada
P (ppm)	exponencial	0.14	0.59	2000	24	fraca
Ca (meq/100g)	_____ (1)	_____	_____	_____	_____	_____
Al (meq/100g)	gaussiano	0.0007	0.008	2700	8.75	forte
K ₀ superficial (mm/h)	gaussiano	260	590	2200	44	moderada
K ₀ subsuperficial (mm/h)	esférico	300	2350	7000	13	forte
Macroporosidade superficial (%)	exponencial	20	90	1000	22	forte
Macroporosidade subsuperficial (%)	esférico	0.003	0.54	3987	0.56	forte
Água disponível superficial (mm)	gaussiano	05	18	1100	83	fraca
Água disponível subsuperficial (mm)	gaussiano	02	14	1100	14	forte
Argila superficial (%)	gaussiano	10	150	900	7	forte
Argila subsuperficial (%)	esférico	0.46	60	1885	0.77	forte
Altimetria (m)	exponencial	5	620	1350	0.81	forte

CDE: Classificação de dependência espacial

(1): Para CTC e Ca os dados não apresentaram dependência espacial, apresentando efeito pepita puro, por isso não apresentam valores para serem completados no quadro.

Através do estudo da intensidade da dependência espacial, dado pela equação $C_0/C_0 + C_1 * 100$ e classificados de acordo com Cambardella et al. (1994), pode-se notar que os atributos pH, P, AD superficial, tiveram fraca dependência espacial. Para V%, Al, Condutividade Hidráulica subsuperficial, Macroporosidade superficial e subsuperficial, Água subsuperficial, Argila superficial e subsuperficial e dados de altimetria apresentaram forte dependência espacial. Apresentaram moderada dependência espacial os atributos Mg, K e Condutividade Hidráulica superficial.

Pode-se concluir que, em relação a dependência espacial do Mg concordou com Souza et al. (1998), Takeda (2000) e Zimback (2001), e, em relação ao K, concordou com Salviano et al. (1998), Takeda (2000) e Zimback (2001).

Pode-se notar que o efeito pepita é bem maior nas camadas superficiais dos atributos estudados, o que pode-se deduzir que camadas superficiais recebem maiores alterações do meio ambiente e do homem que as camadas subsuperficiais, tornando a aleatoriedade das variações maiores (Marx et al., 1988; Trangmar et al., 1985 e Cambardella et al., 1994).

6.2.3- Análise do alcance

O alcance da dependência espacial representa a distância na qual os pontos amostrais, normalmente contidos na malha experimental, estão correlacionados entre si, ou até que distância os dados são dependentes espacialmente. Desta forma, pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si, do que aqueles

localizados fora dela (Journel & Huijbregts, 1978). Logo, o alcance torna-se um parâmetro do semivariograma de extrema importância para o planejamento e a avaliação experimental, uma vez que auxilia na definição de procedimentos de amostragem, no tamanho e forma da parcela e do bloco, na distância entre parcelas, para que sejam independentes entre si, e finalmente, no tipo de delineamento experimental a ser utilizado.

Nas análises espaciais pode-se notar que o alcance variou de 900m (% Argila superficial) até 7000m (Condutividade Hidráulica subsuperficial).

Fazendo uma análise do quadro 09 e observando as Figuras de 09 a 25, pode-se observar que o alcance da dependência espacial, teve os seguintes valores para os atributos do solo: 1) pH, de 3.600m; 2) V% de 2686m; 3) Magnésio (Mg) de 1600m; 4) Potássio (K) de 2100m; 5) Fósforo (P) de 2000m; 6) Alumínio (Al) de 2700m; 7) Condutividade Hidráulica (k_0) superficial de 2200m; 8) Condutividade Hidráulica (k_0) subsuperficial de 7000m; 9) Macroporosidade superficial de 1000m; 10) Macroporosidade subsuperficial de 3987m; 11) Água disponível superficial de 1100m; 12) Água disponível subsuperficial de 1100m; 13) Argila superficial de 900m; 14) Argila subsuperficial de 1885m; 15) Curvas de nível de 1350m.

A escala de trabalho não foi suficientemente grande para a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e o Cálcio (Ca) que apresentaram um efeito pepita puro e mostrando que, provavelmente, a dependência entre as amostras ocorra a distâncias inferiores a menor distância analisada neste estudo, pedindo maior adensamento de amostragem, portanto não apresentam um valor de alcance.

6.2.4- Interpolação dos dados

De acordo com Laslett et al. (1987), Voltz & Webster (1990) e Rossi et al. (1994), a krigagem ordinária tem se mostrado o melhor método de interpolação do que aqueles obtidos por outros métodos. Burrough et al. (1992) e Irvin et al. (1997) verificaram que esse uso é bastante eficiente na representação dos atributos do solo.

A partir da análise espacial realizada, e percebendo a existência da dependência espacial através da análise geoestatística, fez-se então, a interpolação dos dados através Krigagem para cada atributo do solo.

A interpolação dos teores de pH, P, K, Mg, Al, V%, k_0 superficial e subsuperficial, Macroporosidade superficial e subsuperficial, Argila superficial e subsuperficial, Água disponível superficial e subsuperficial e dados de altimetria estão dispostas nas Figuras 26 a 40, respectivamente. Os mapas interpolados apresentam boa distribuição e continuidade.

A interpolação do atributo CTC e Ca, como não apresentaram dependência espacial, fez-se então a interpolação pelo interpolador Interpol e os resultados são apresentados nas Figuras 41 e 42, respectivamente .

6.3 – Obtenção do Modelo Numérico de Terreno (MNT)

O Modelo Numérico do Terreno (MNT) é uma representação matemática tratável computacionalmente e que representa a distribuição espacial de uma

determinada característica vinculada a uma superfície real. O modelo digital é gerado a partir de um conjunto de pontos amostrados da superfície real, sendo que as coordenadas X e Y dos pontos estão relacionadas às posições de amostragem na superfície e a coordenada Z está relacionada à variável a ser modelada.

Os modelos gerados foram cruzados com o limite da área em estudo e estão representados nas Figuras 26 a 42, conforme ilustrado a seguir.

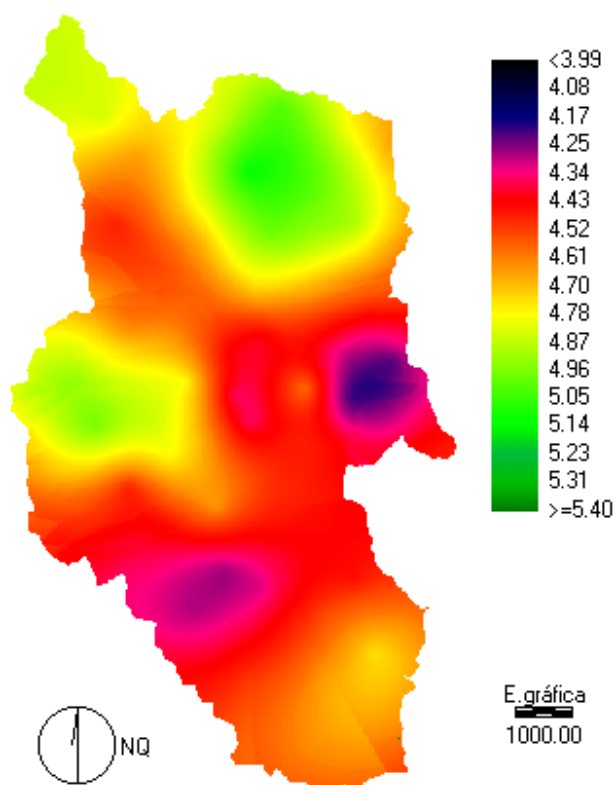


Figura 26 – MNT a partir da interpolação dos dados de pH no solo, através da Krigagem.

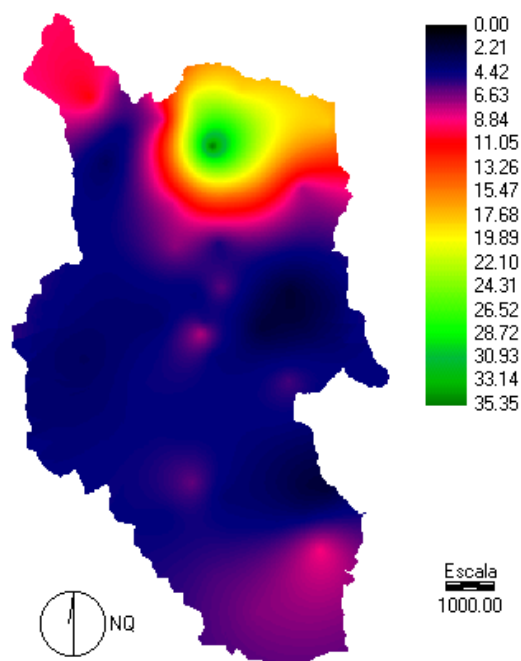


Figura 27 – MNT a partir da interpolação dos dados de P no solo, em ppm, através da Krigagem.

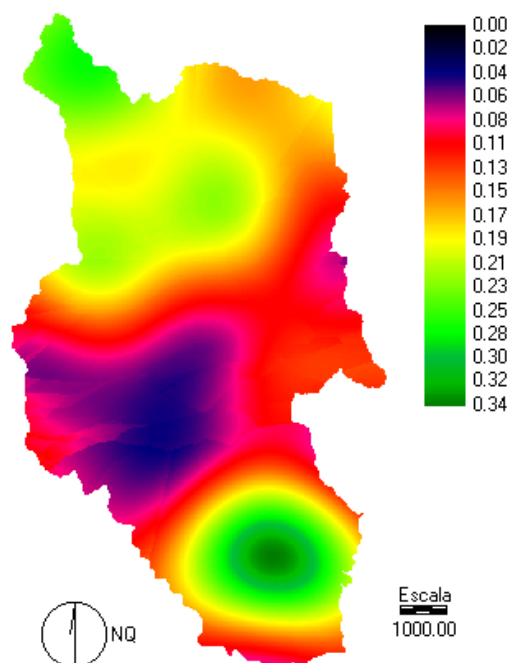


Figura 28 – MNT a partir da interpolação dos dados de K no solo, em meq/100cm³, através da Krigagem.

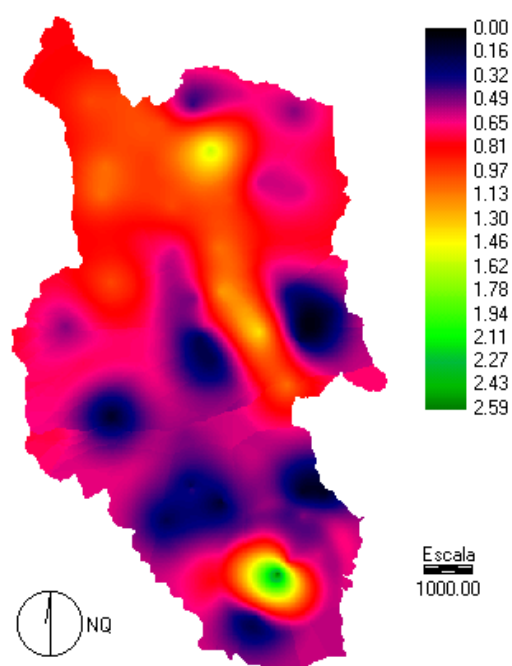


Figura 29 – MNT a partir da interpolação dos dados de Mg no solo, em meq/100g, através da Krigagem.

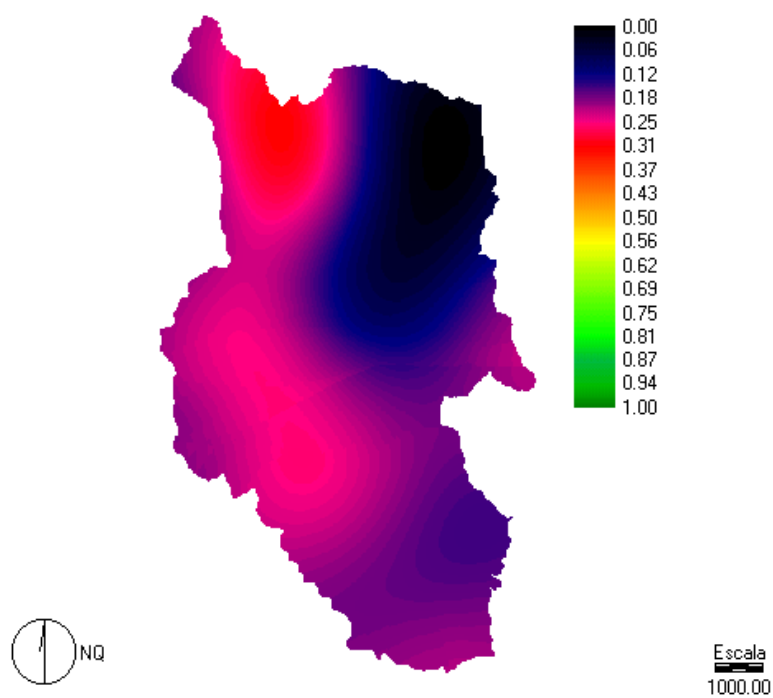


Figura 30 – MNT a partir da interpolação dos dados de Al no solo, em meq/100g, através da Krigagem.

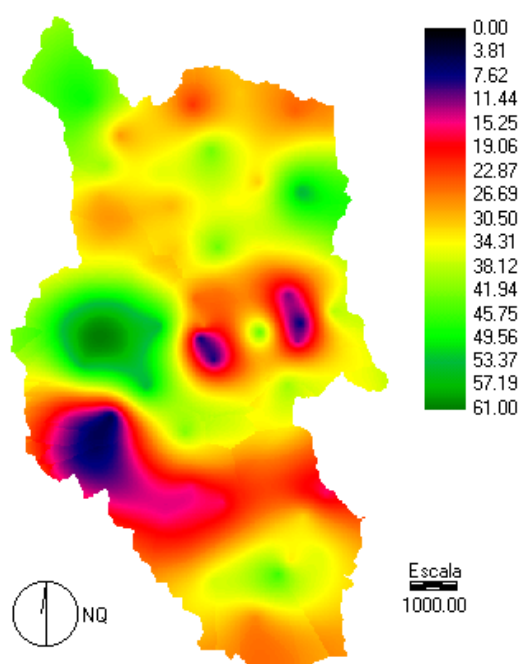


Figura 31 – MNT a partir da interpolação dos dados de V no solo, em %, através da Krigagem.

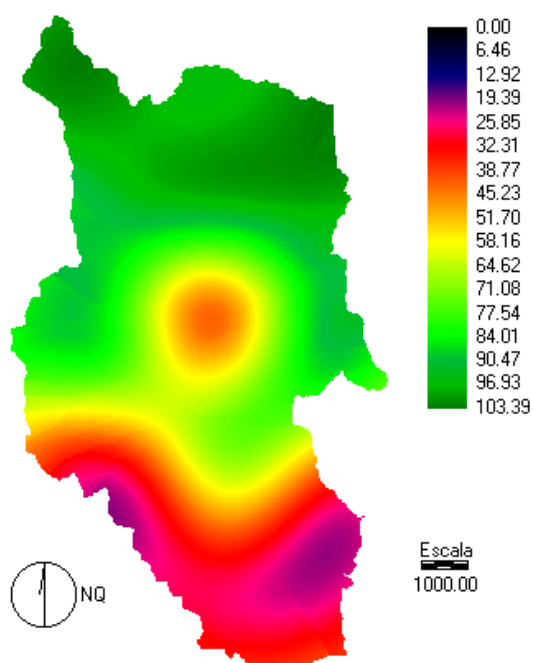


Figura 32 – MNT a partir da interpolação dos dados de K_0 superficial no solo, em mm/h, através da Krigagem.

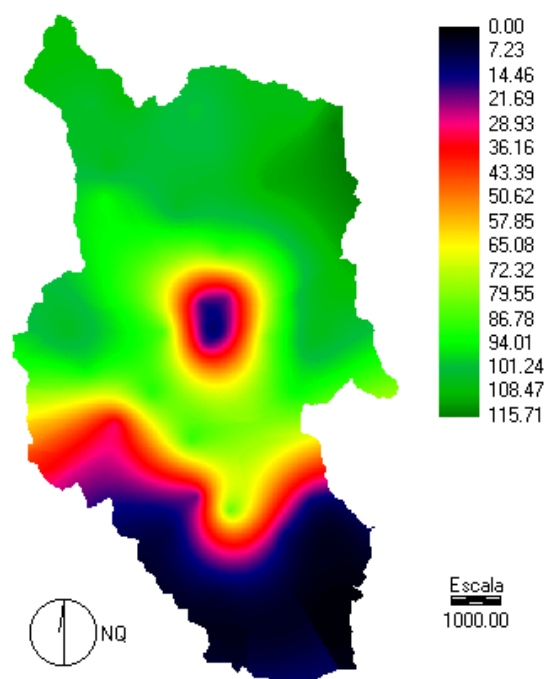


Figura 33 – MNT a partir da interpolação dos dados de K_0 subsuperficial no solo, em mm/h, através da Krigagem.

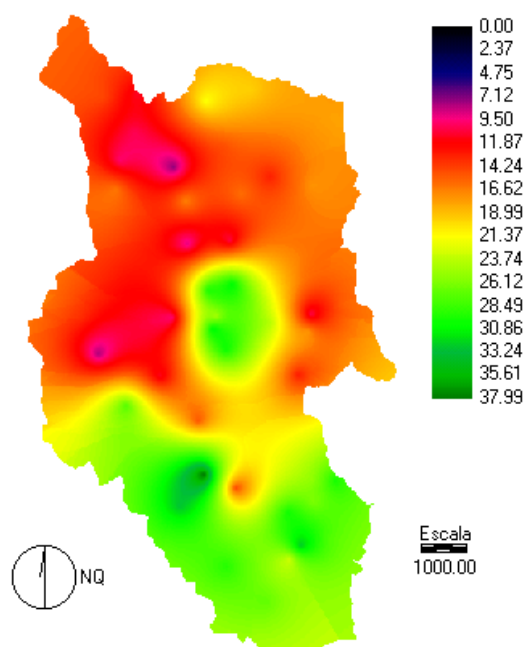


Figura 34 – MNT a partir da interpolação dos dados de Macroporosidade superficial no solo, em %, através da Krigagem.

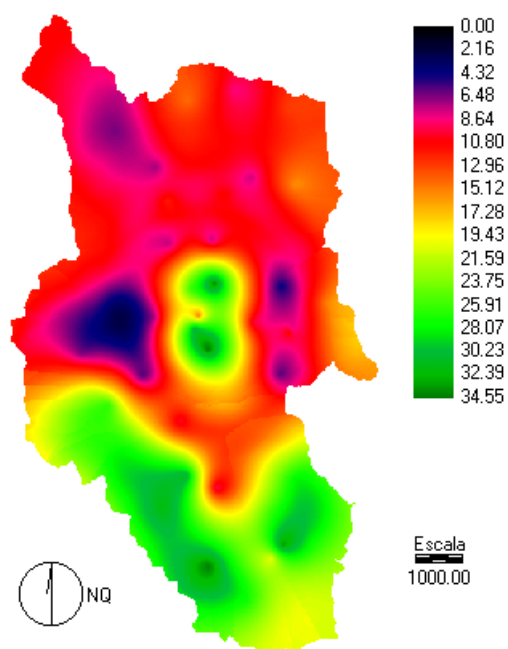


Figura 35 – MNT a partir da interpolação dos dados de Macroporosidade subsuperficial no solo, em %, através da Krigagem.

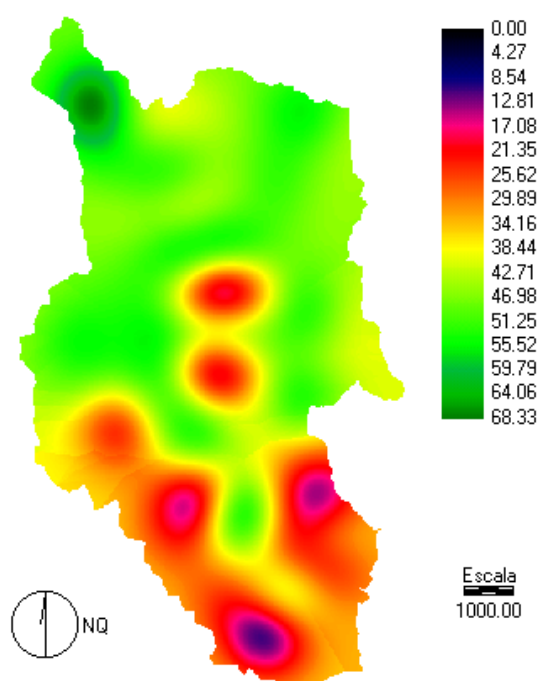


Figura 36– MNT a partir da interpolação dos dados de teores de Argila superficial no solo, em %, através da Krigagem.

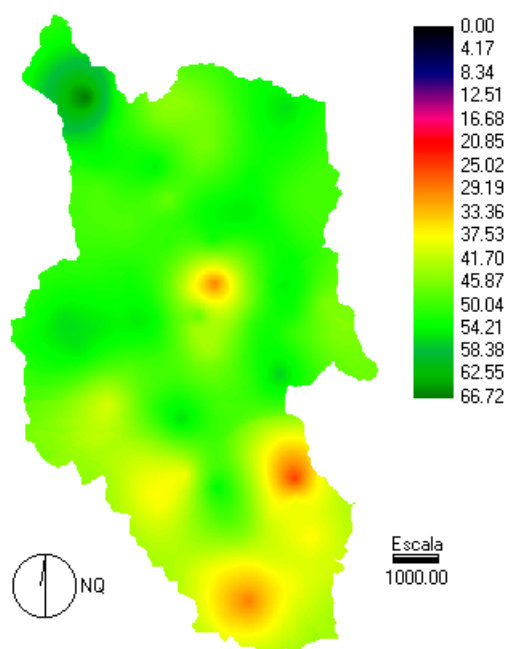


Figura 37 – MNT a partir da interpolação dos dados de teores de Argila subsuperficial no solo, em %, através da Krigagem.

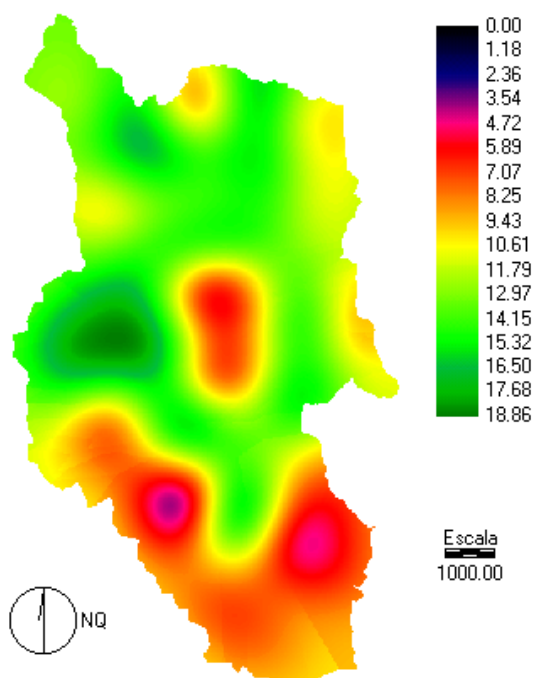


Figura 38 – MNT a partir da interpolação dos dados de Água disponível superficial no solo, em mm, através da Krigagem.

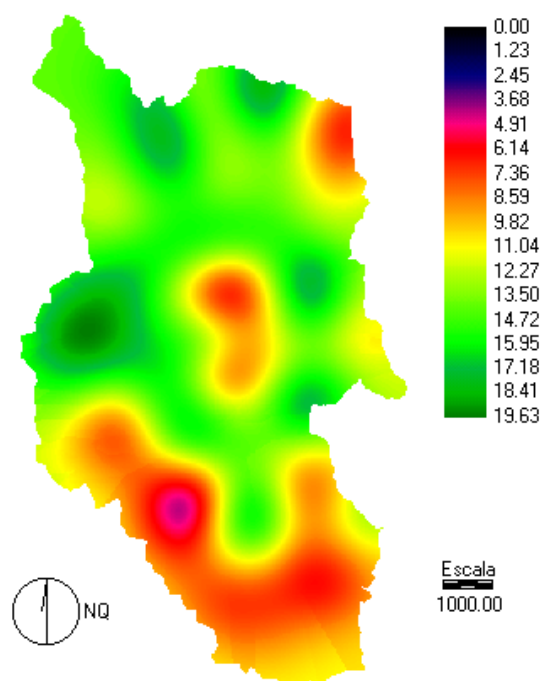


Figura 39 – MNT a partir da interpolação dos dados de Água disponível subsuperficial no solo, em mm, através da Krigagem.

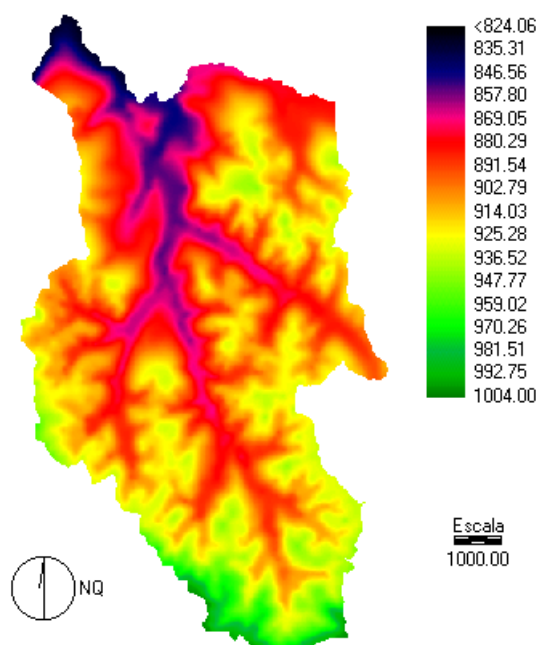


Figura 40 – MNT a partir da interpolação dos dados de altimetria, em metros, através da Krigagem.

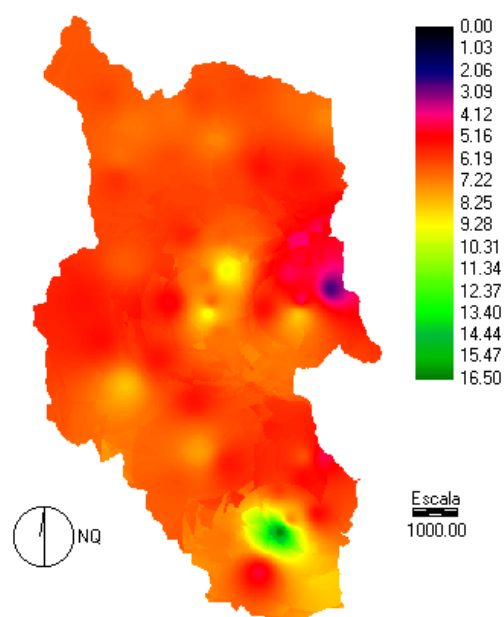


Figura 41 – MNT a partir da interpolação dos dados de CTC no solo, em meq/100g, através do interpolador Interpol.

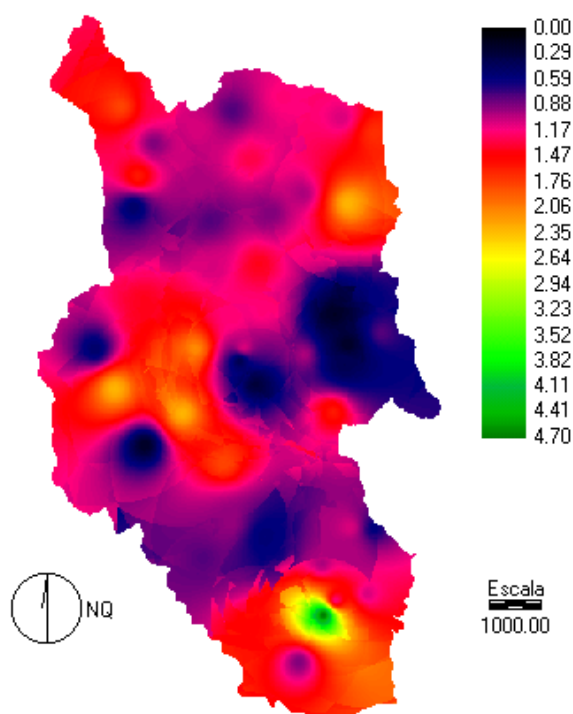


Figura 42 – MNT a partir da interpolação dos dados de Ca no solo, em meq/100mg, através do interpolador Interpol.

Com dependência espacial de fraca a forte, os mapas interpolados mostraram-se com valores contínuos, sem aparentes mudanças abruptas entre classes vizinhas. Mesmo os atributos que apresentam uma dependência espacial fraca, apresentam uma certa continuidade nos dados interpolados, seja pelo método da Krigagem ou pelo interpolador Interpol.

6.4 - Classificando os parâmetros dos atributos do solo

Os atributos do solo analisados para classificar terras para irrigação, como, deficiência de topografia, deficiência de drenagem, deficiência do solo, pH, CTC, V, P, Mg, K, Ca, Al, Água disponível, Permeabilidade, Condutividade hidráulica, Macroporosidade, forma de relevo, declividade e profundidade do lençol freático, foram classificados de acordo com os limites para a classificação interpretativa.

Para definir o grau de deficiência de topografia, drenagem e solo, foram confeccionados os mapas que seguem nas Figuras 43 a 57.

Deficiência por declividade

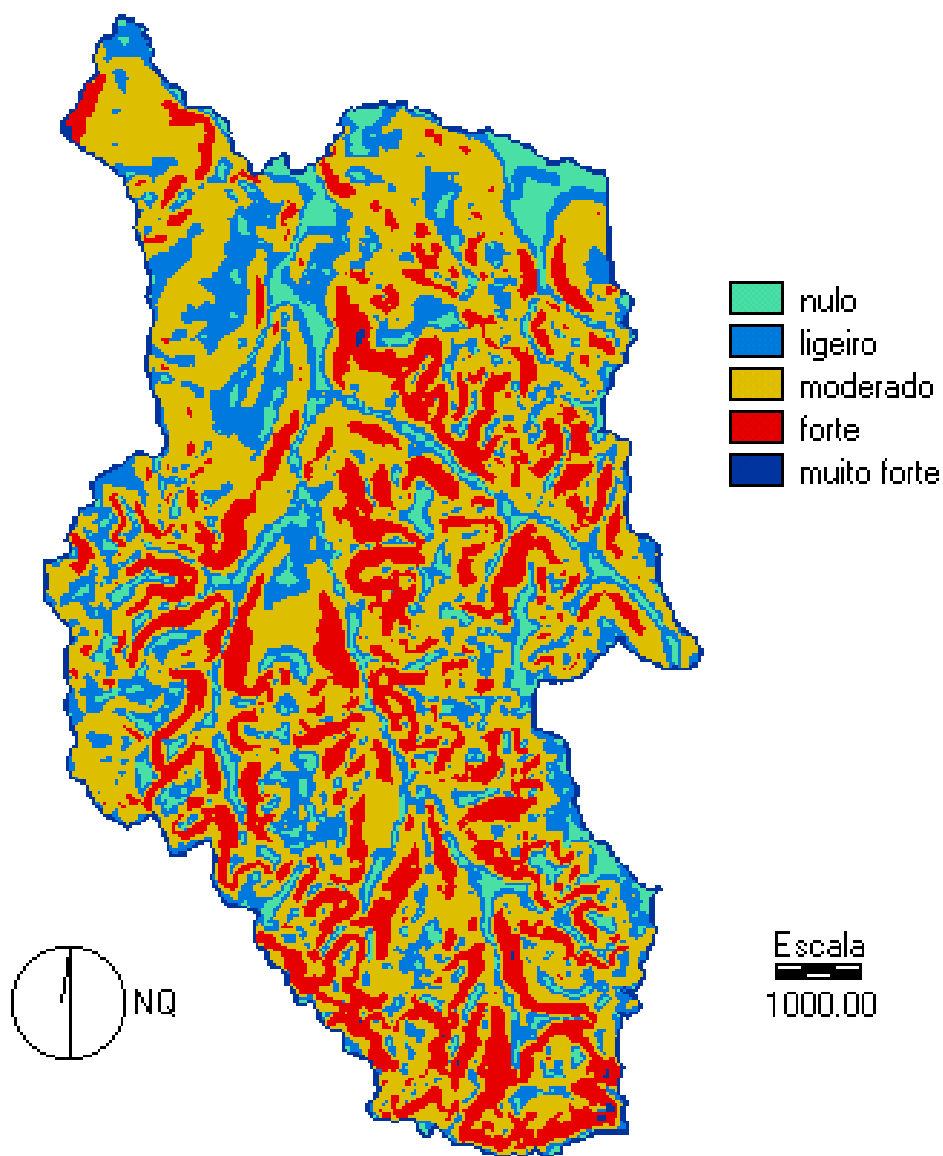


Figura 43 - Mapa do grau de deficiência por declividade, avaliando o fator topografia.

Quando avaliado o fator topografia, verificando o grau de deficiência por declividade, notou-se que a área em estudo predominou com grau de deficiência moderado numa área de 2.940 ha, atribuindo aproximadamente 46% da área total.

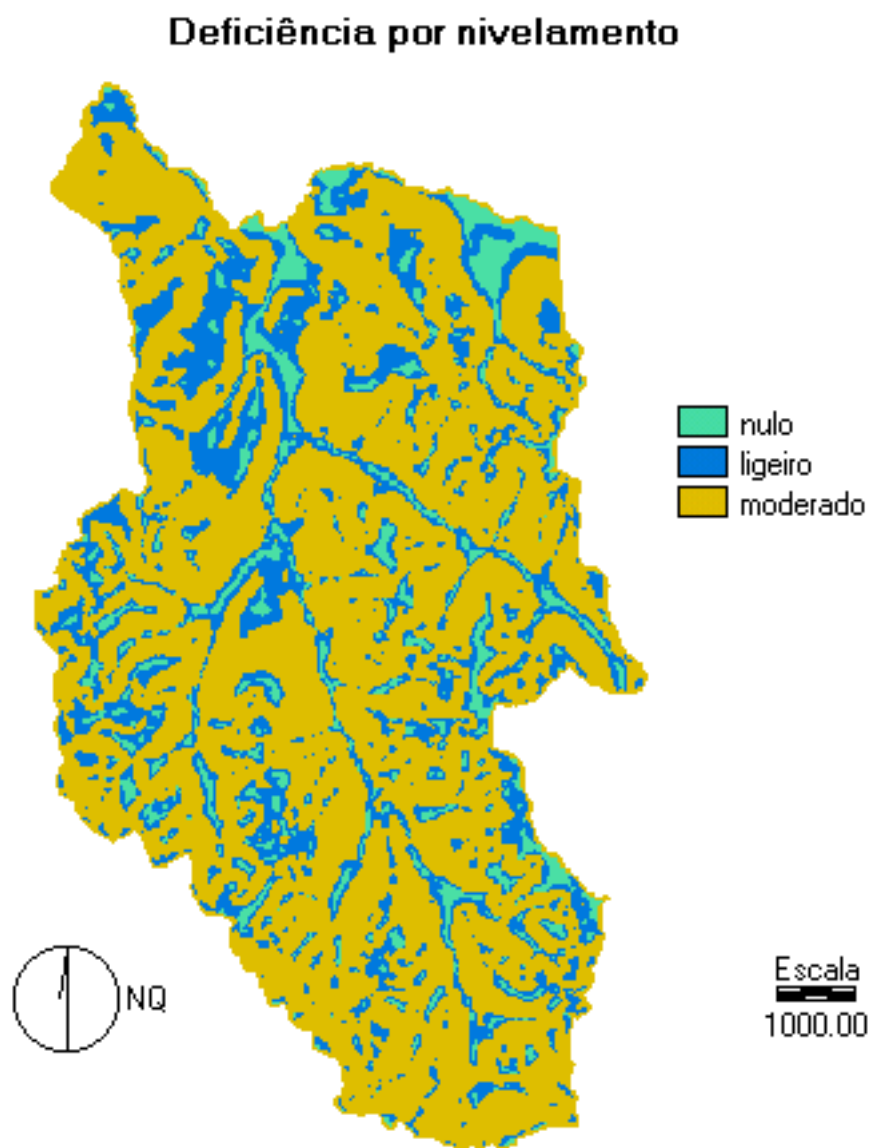


Figura 44 - Mapa do grau de deficiência por nivelamento, avaliando o fator topografia.

O fator nivelamento acusou um grau de deficiência moderado na maior parte da área, com 4.580 ha, ou seja, 72 % da área da Microbacia.

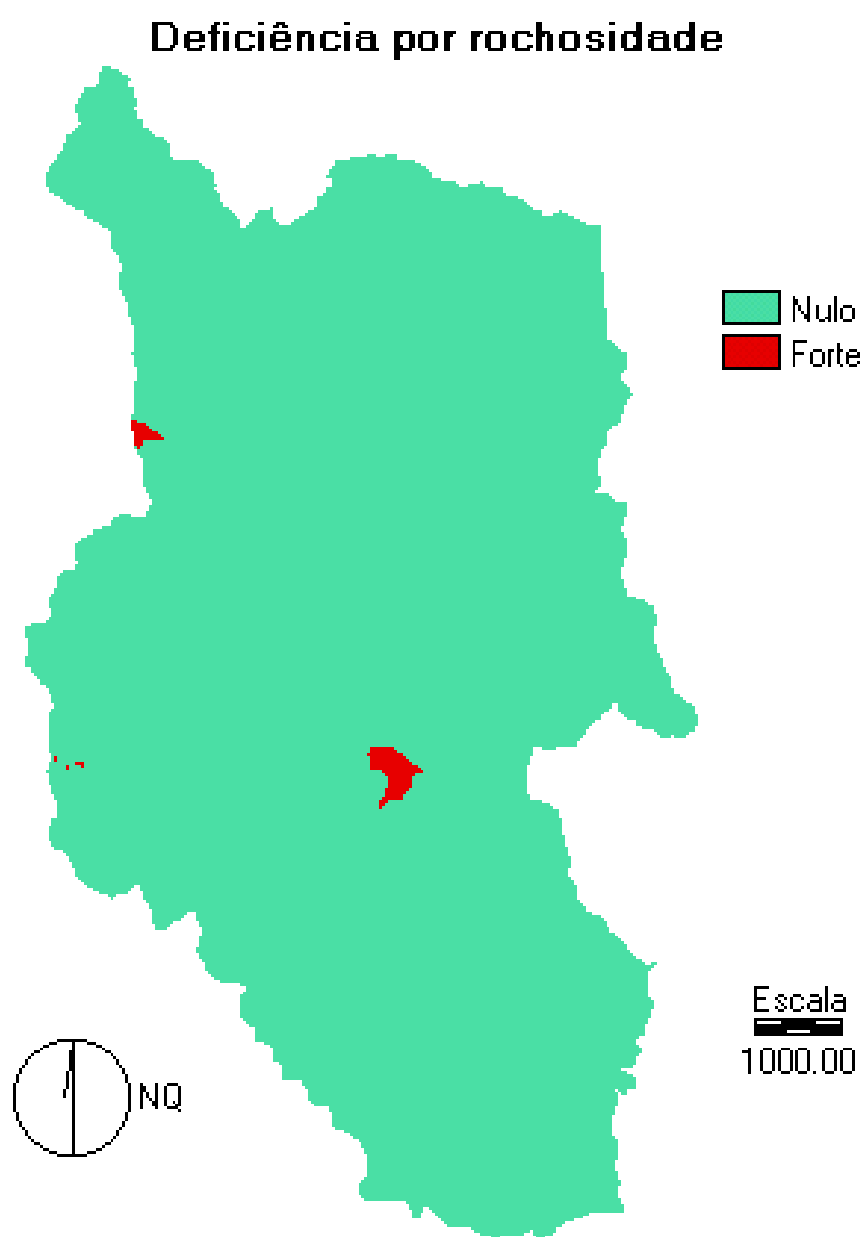


Figura 45 - Mapa do grau de deficiência por rochosidade, avaliando o fator topografia.

No fator topografia, ao analisar o grau de deficiência por rochosidade, notou-se que o grau nulo ficou em evidência com 99% da área total, aproximadamente 6.300 ha.

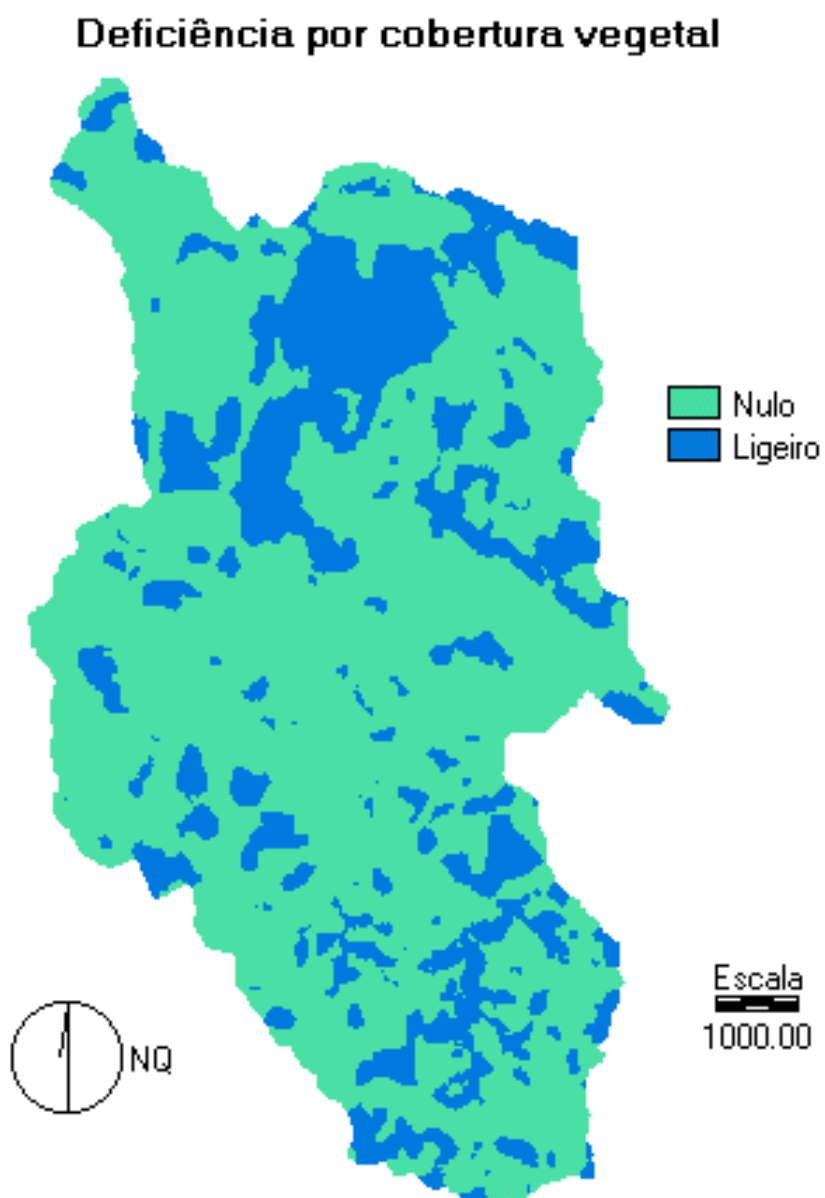


Figura 46 - Mapa do grau de deficiência por cobertura vegetal, avaliando o fator topografia.

O grau de deficiência por cobertura vegetal, mostrou que o grau nulo, com aproximadamente 4.698 ha, representando 74 % da área.

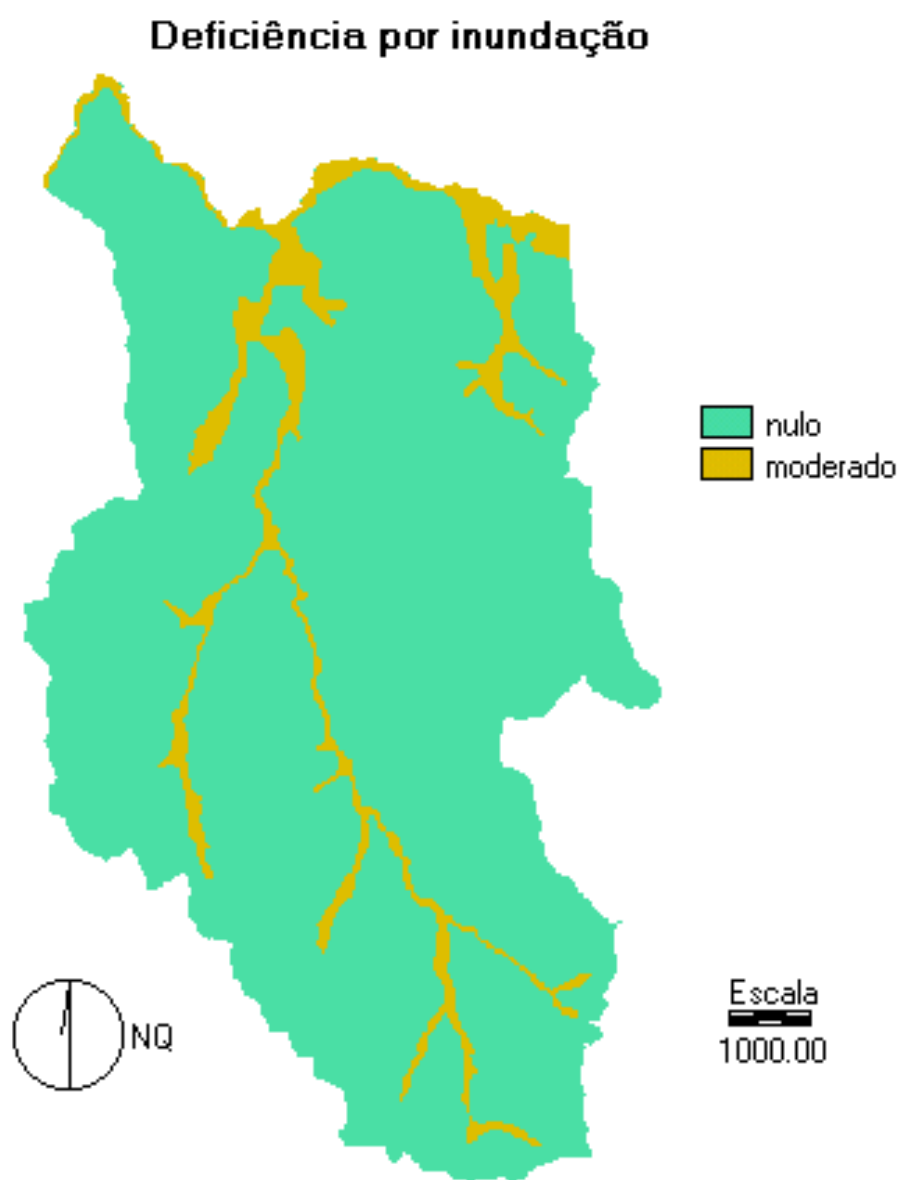


Figura 47 - Mapa do grau de deficiência por inundação, avaliando o fator drenagem.

Avaliando ainda o fator topografia, no grau de deficiência por inundação, apresentou 5.810 ha com grau nulo, 92 % da área total.

Deficiência pelo lençol freático

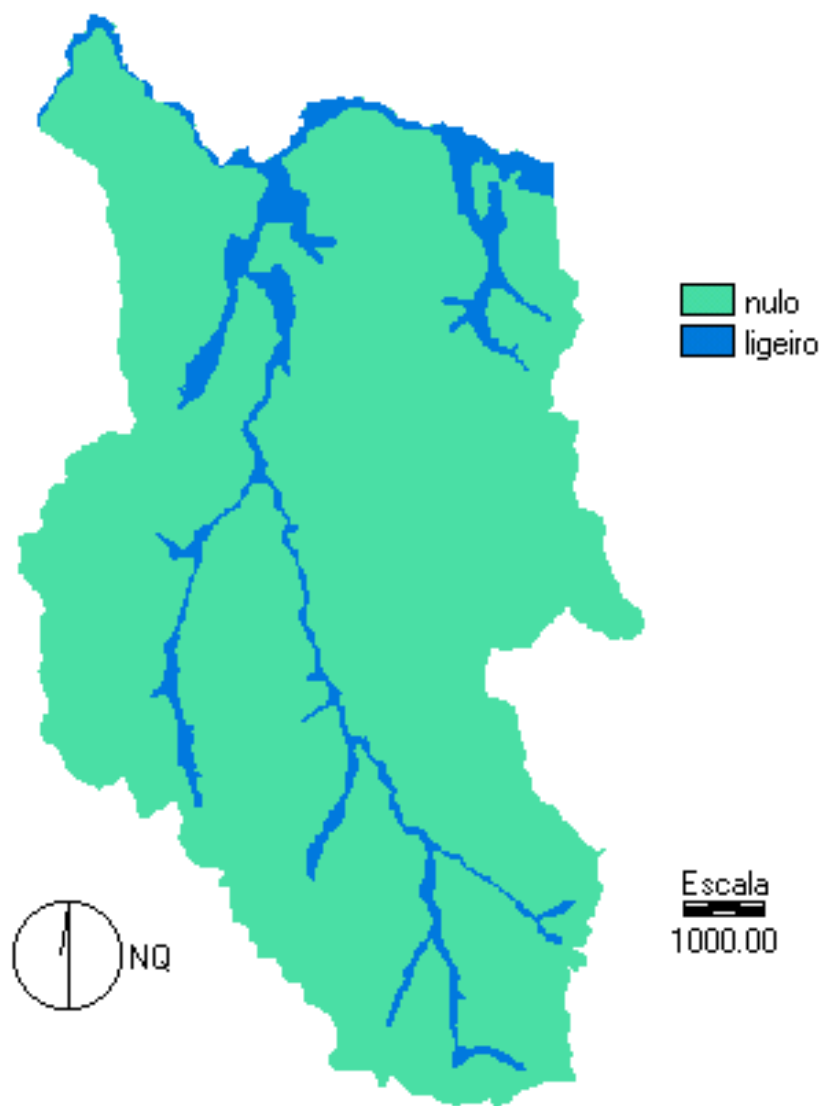


Figura 48 - Mapa do grau de deficiência pelo lençol freático, avaliando o fator drenagem.

Igualmente ao grau de deficiência por inundação, o grau de deficiência pelo lençol freático, apresentou também uma área de 5.810 ha de grau nulo de deficiência, sendo 92 % da área total.

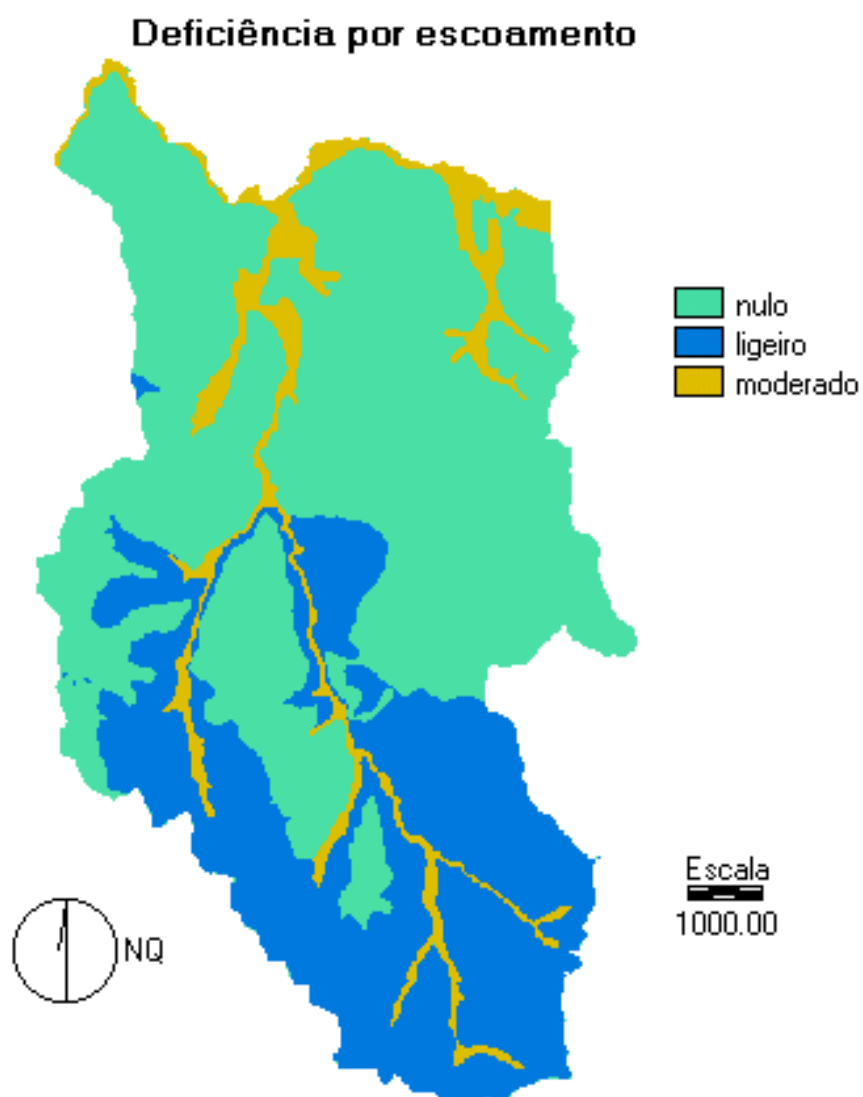


Figura 49 - Mapa do grau de deficiência pelo escoamento, avaliando o fator drenagem.

A deficiência por escoamento apresentou grau nulo com 59 % da área, representando 3727 ha da área da Microbacia.

Deficiência por profundidade efetiva

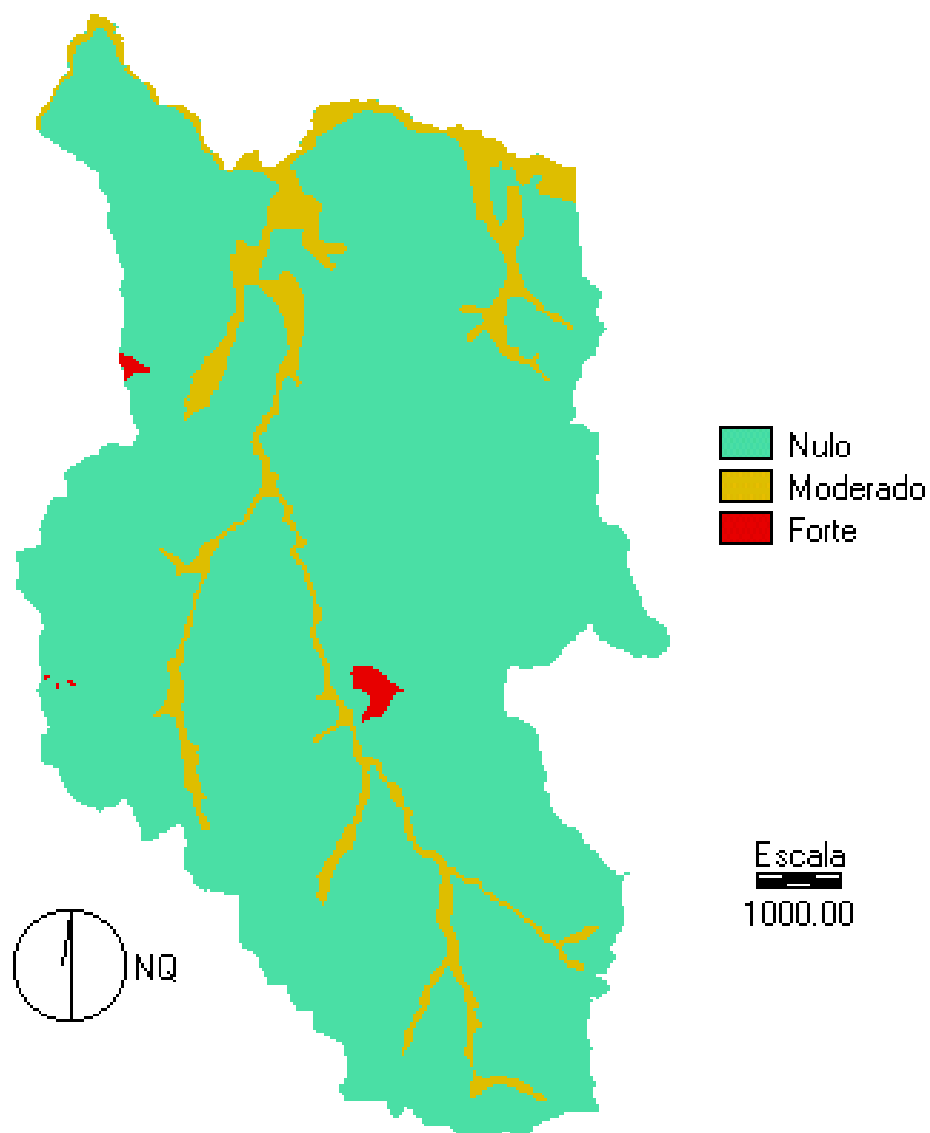


Figura 50 - Mapa do grau de deficiência da profundidade efetiva, avaliando o fator solo.

Com uma área de 5.782 ha, representando 91 % da área total, o mapa de grau de deficiência da profundidade efetiva, predominou grau nulo de deficiência.

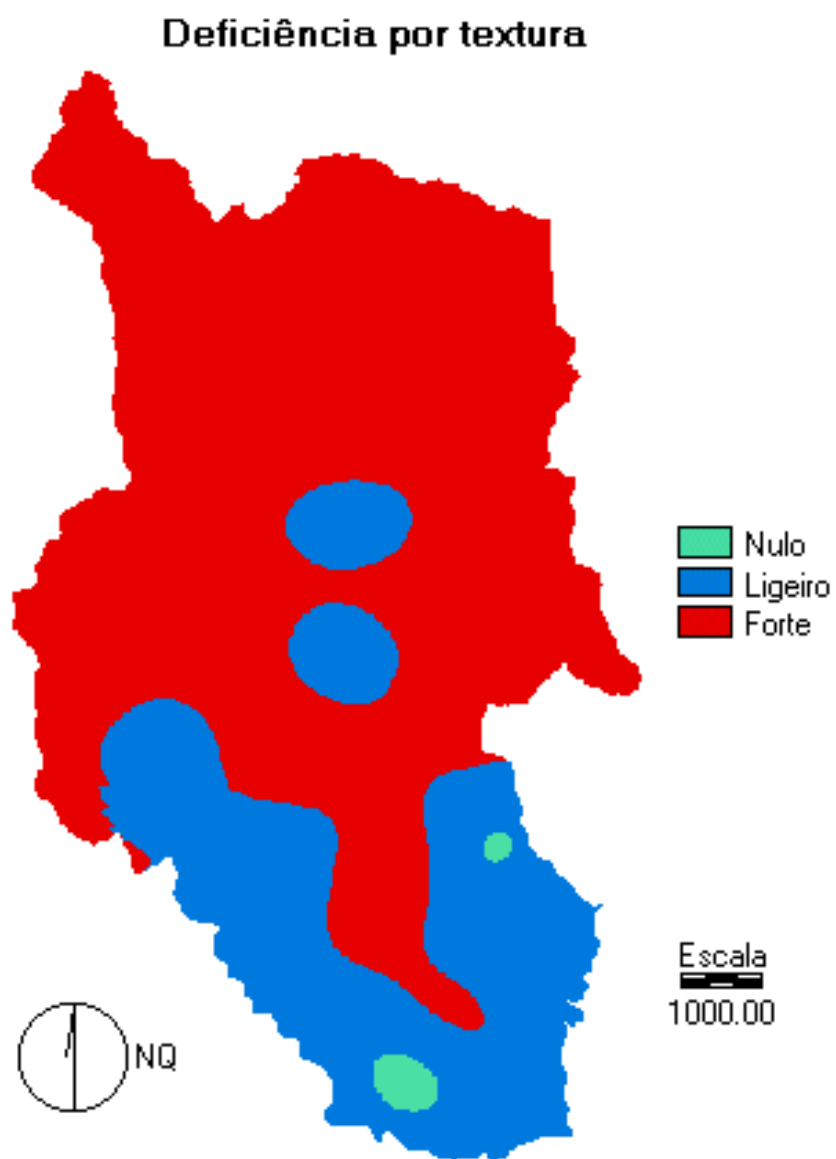


Figura 51 - Mapa do grau por deficiência da textura, avaliando o fator solo.

A deficiência por textura, quando analisada apresentou um área de 4435 ha, aproximadamente 70 % da área total, com um forte grau de deficiência, 1833ha, 30% da área, com ligeiro grau de deficiência e 52ha, 0,82% da área restante com grau nulo de deficiência.

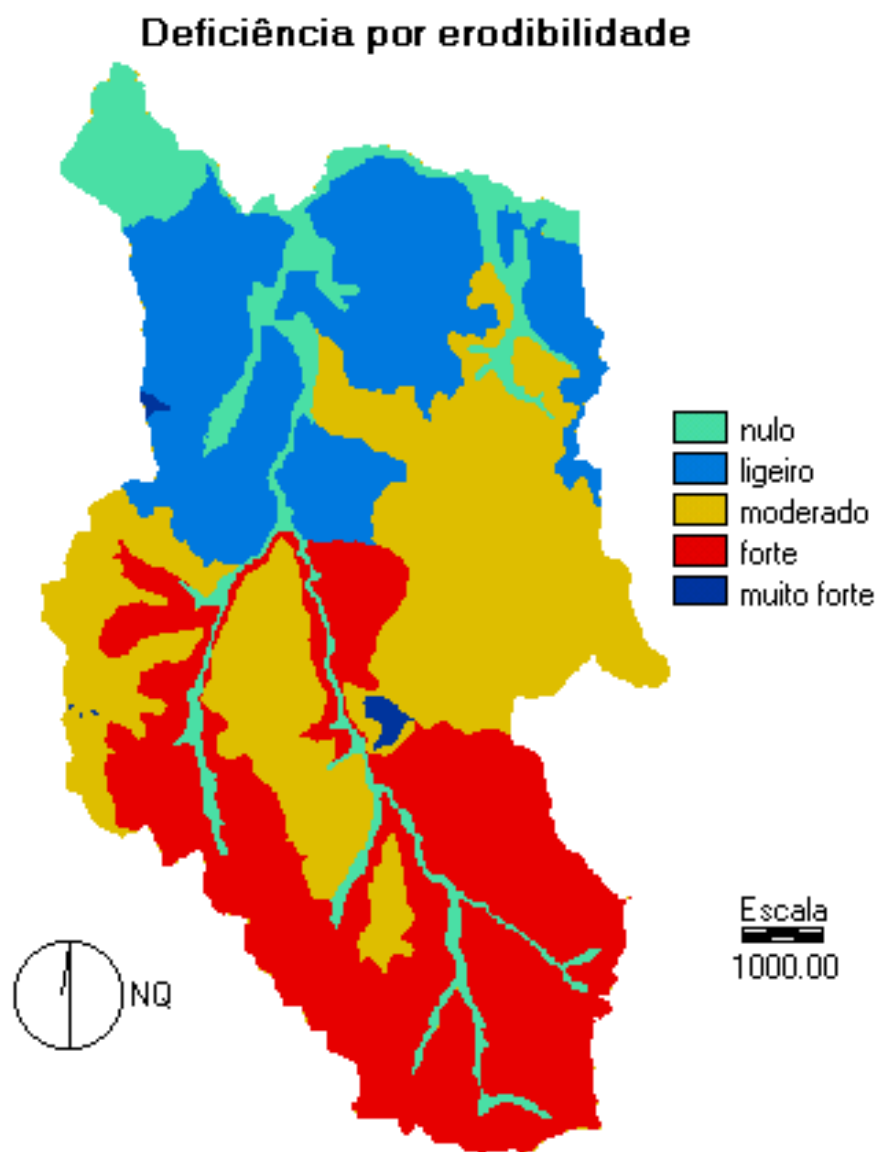


Figura 52 - Mapa do grau de deficiência da erodibilidade, avaliando o fator solo.

No mapa de deficiência de erodibilidade, um grau de deficiência moderado foi apresentado na maior parte da área, com 2.068 ha, cerca de 32 % da área total.

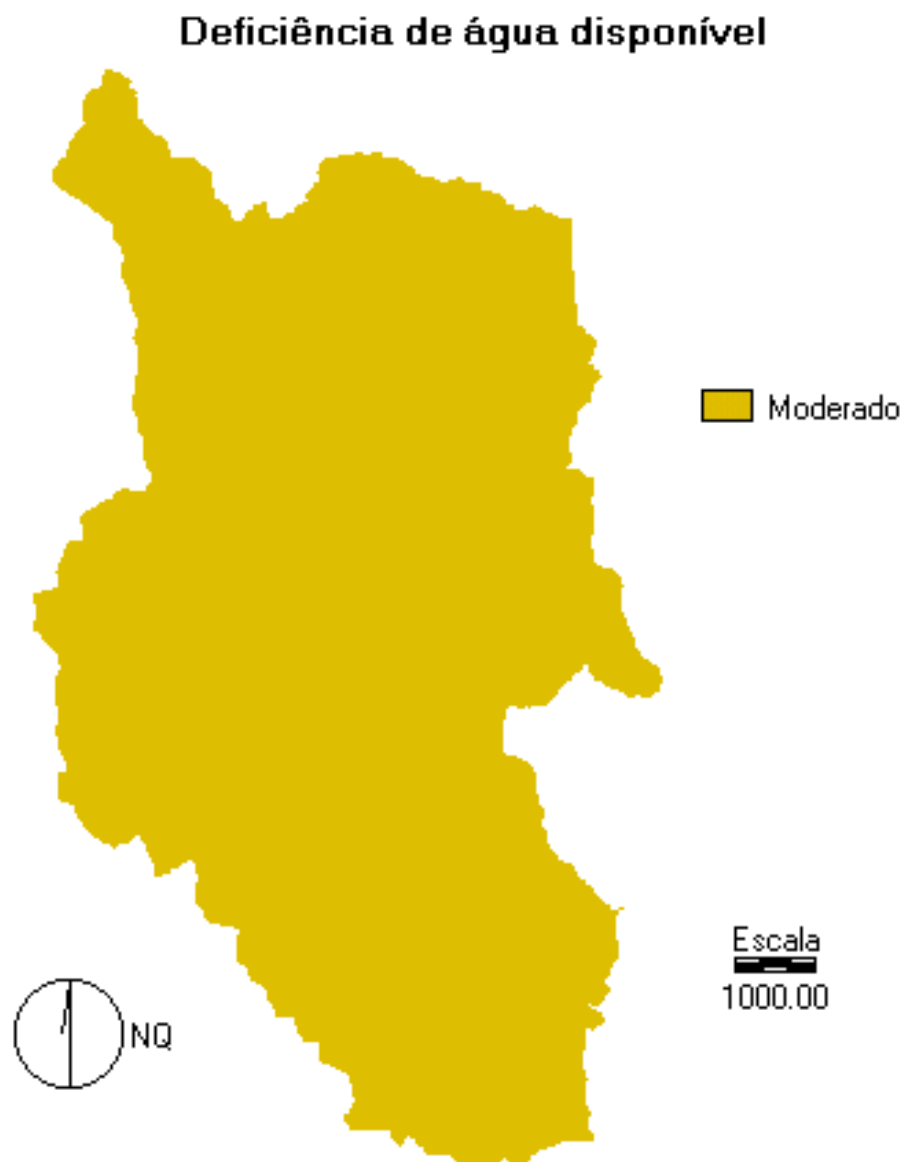


Figura 53 - Mapa do grau de deficiência de água disponível, avaliando o fator solo.

Cem por cento da área da microbacia estudada apresentou grau de deficiência moderado para o mapa de deficiência de água disponível.

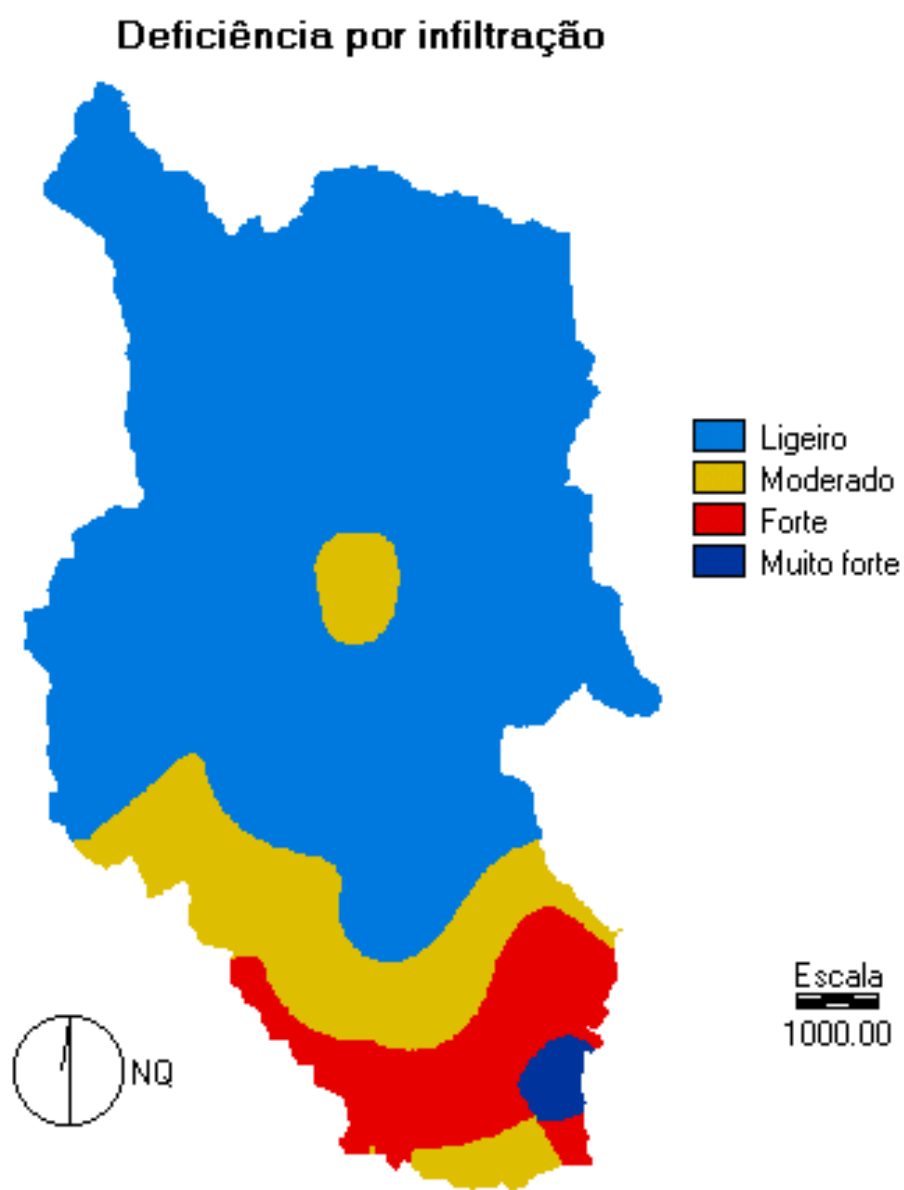


Figura 54- Mapa do grau de deficiência de infiltração, avaliando o fator solo.

O mapa de deficiência de infiltração apresentou 4.700 ha, aproximadamente 74 % da área total com um ligeiro grau de deficiência.

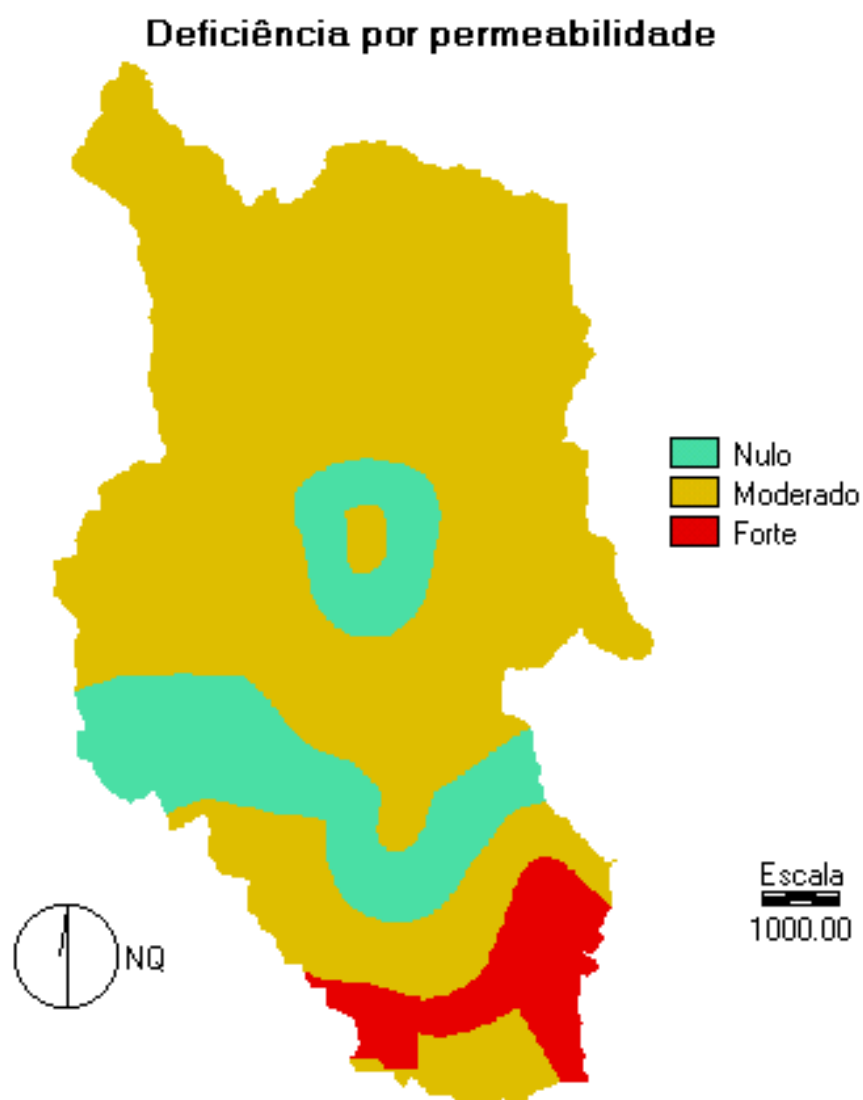


Figura 55- Mapa do grau de deficiência de permeabilidade, avaliando o fator solo.

O mapa de deficiência de permeabilidade foi predominado com um moderado grau de deficiência, com 4813 ha, com aproximadamente 76 % da microbacia total de estudo.

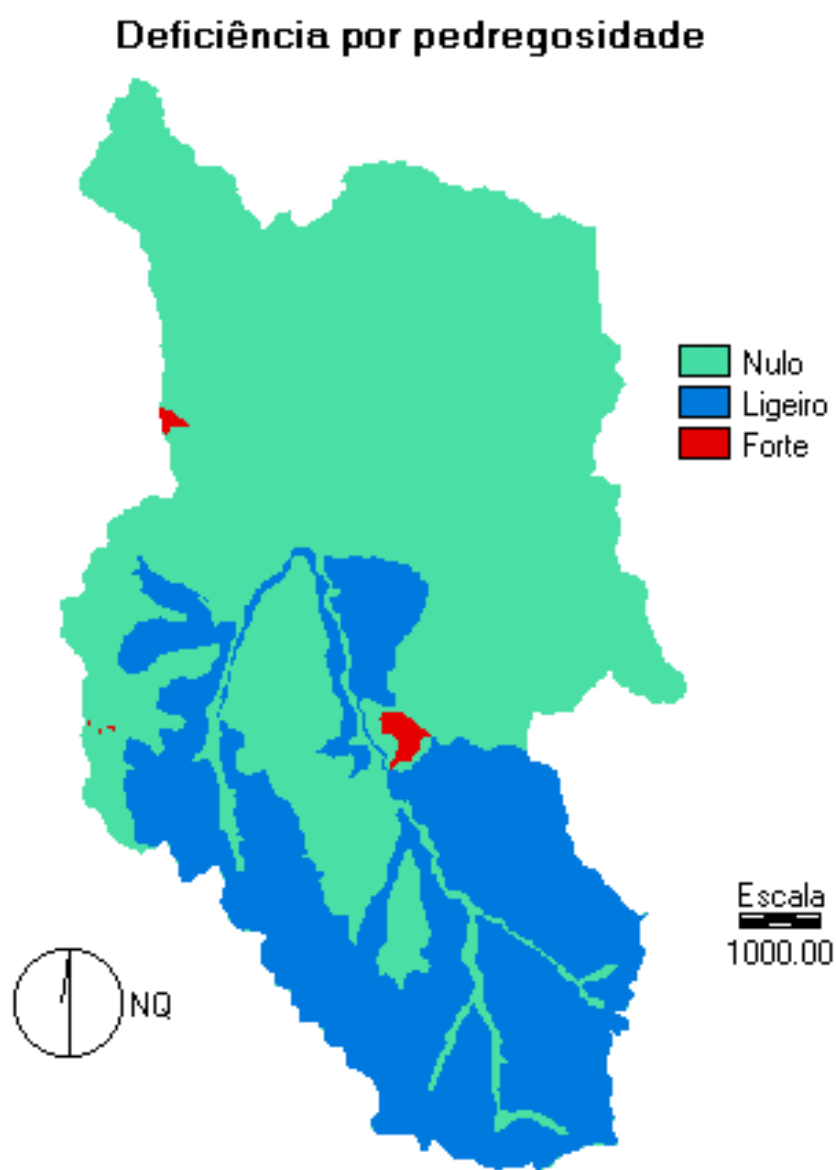


Figura 56- Mapa do grau de deficiência de pedregosidade, avaliando o fator solo.

Predominando a área com um grau nulo de deficiência, o mapa de pedregosidade, apresentou 4.246 ha, o que significa 67 % da área total.

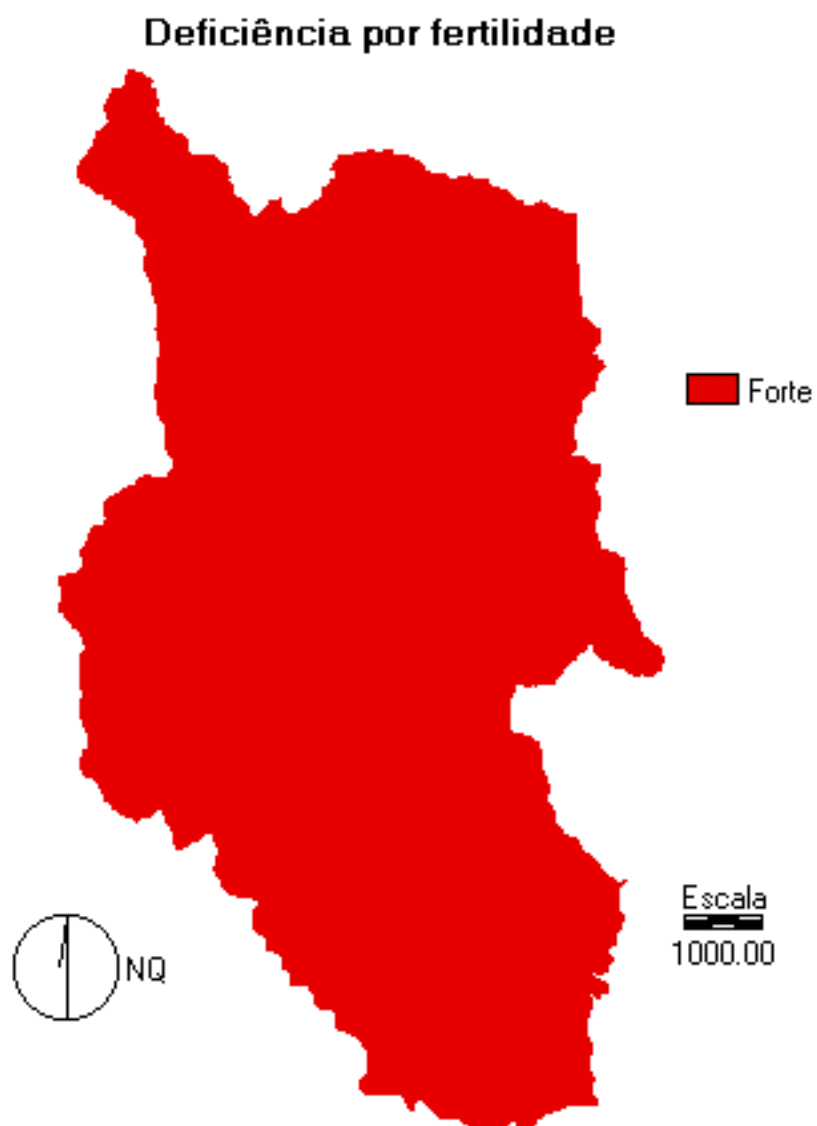


Figura 57- Mapa do grau de deficiência de fertilidade, avaliando o fator solo.

O mapa de deficiência de fertilidade indica que a área de estudo tem uma predominância para um forte grau de deficiência, apresentando uma área de 6.320 ha, 100%.

Para classificar a região em relação ao uso atual da terra, obteve-se, então, o mapa de uso atual da terra com todas as culturas existentes no local, feito a partir da imagem de satélite Landsat5/TM, como mostra a Figura 58.

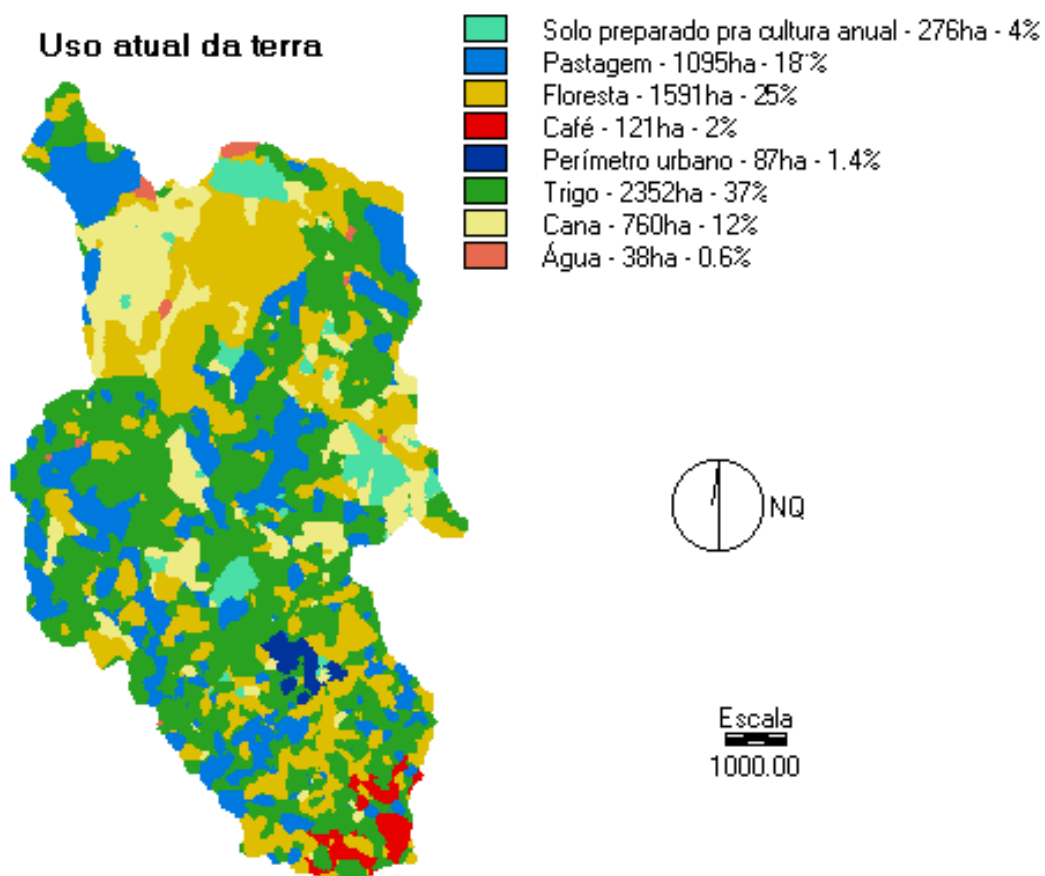


Figura 58 - Mapa de uso atual da terra, com todas as culturas existentes na área.

A área atualmente apresenta vários tipos de usos, entre eles, solo preparado para cana, pastagem, floresta, café, trigo, cana. Existindo ainda uma área de 37 ha ocupada por água, e 64 ha ocupado pelo perímetro urbano.

Quando analisado o parâmetro produtividade, foram classificados os mapas de pH, CTC, V, P, Mg, K, Ca, Al, conforme seus limites, representados pelas Figuras 59 a 66, respectivamente.

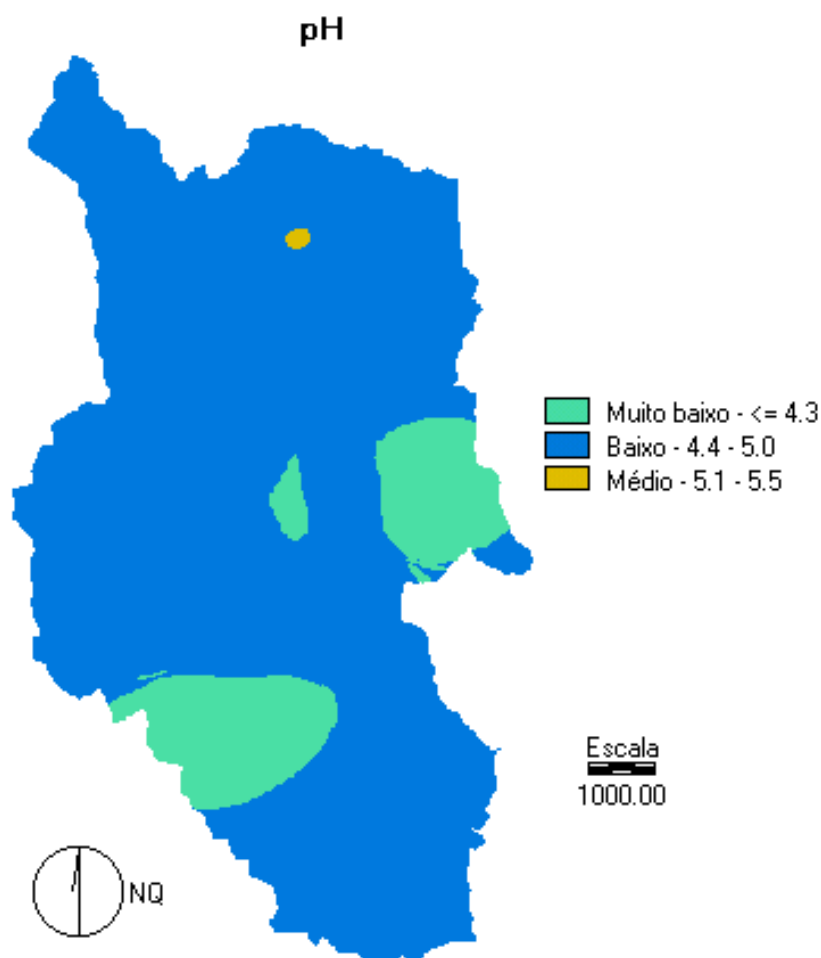


Figura 59 - Mapa de pH, avaliando o fator produtividade.

Avaliando o mapa de pH, verificou-se que existe uma grande área, 5.502 ha, com o nível de pH baixo, entre 4,4 e 5,0; uma área de 810 ha, com o nível muito baixo de pH, menor que 4,3; e uma pequena área de 8 ha com o nível médio de pH, entre 5,1 e 5,5.

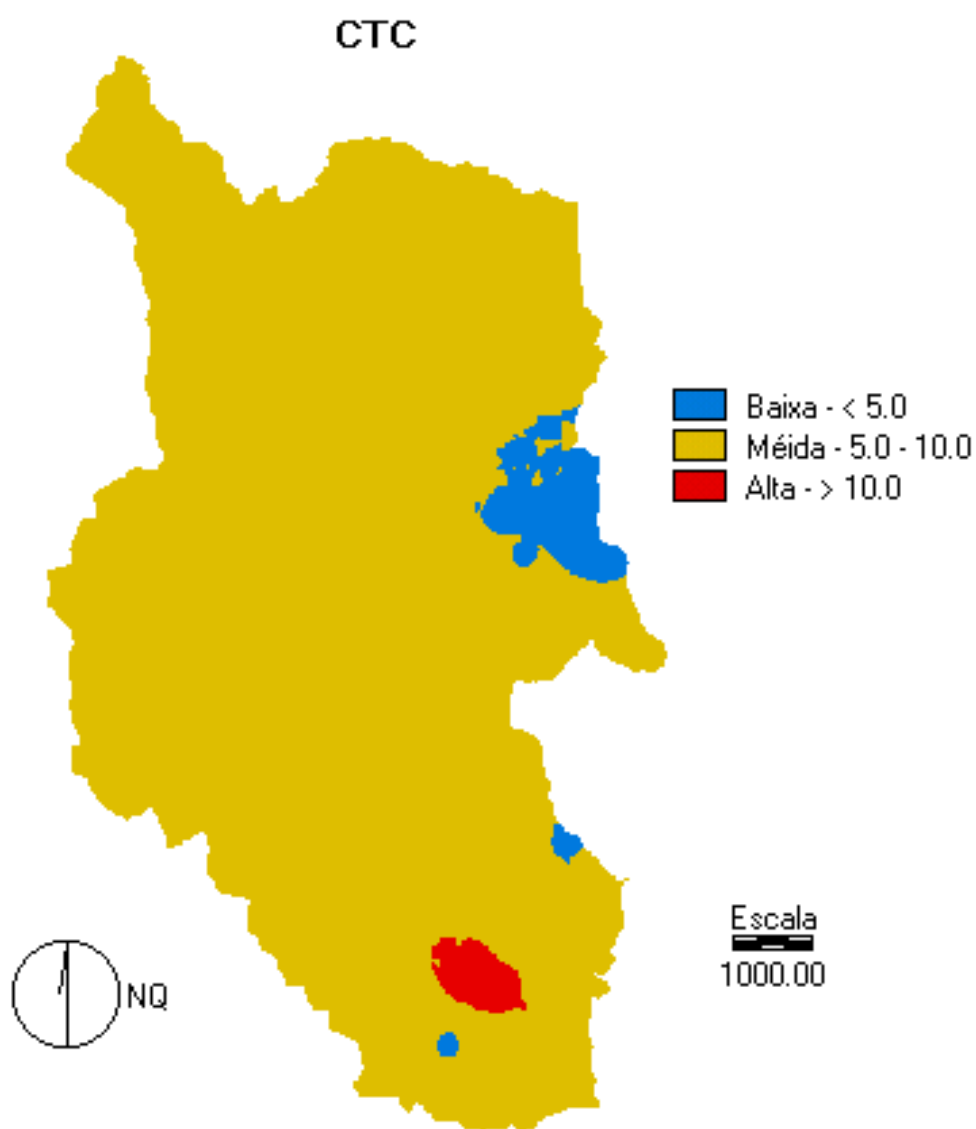


Figura 60 - Mapa de CTC, avaliando o fator produtividade.

Uma área de 6.019 ha indica que a região estudada representa uma CTC média, entre 5,0 a 10,0 meq/100g; 227 ha representam uma CTC baixa, ou menor que 5,0; e 74 ha apresentam CTC alta, maior que 10,0 meq/100g.

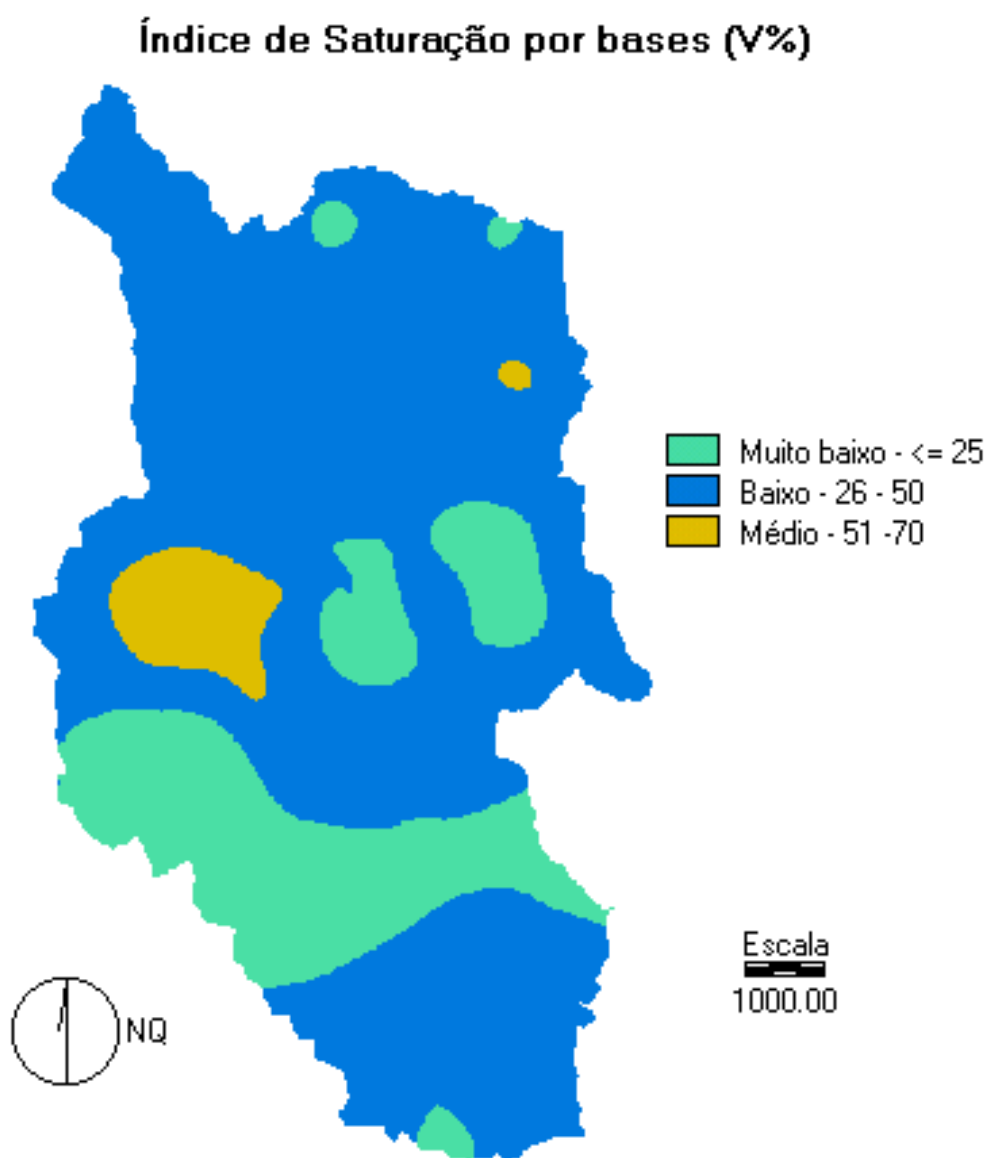


Figura 61- Mapa de Índice de Saturação por bases (V%), avaliando o fator produtividade.

A microbacia em estudo apresenta um nível muito baixo de V%, com 1.424 ha, representando 23 % da área total. Apresenta também 4.620 ha de V% baixo, cerca de 73%, e 276 ha, 4% da área total com um V % médio.

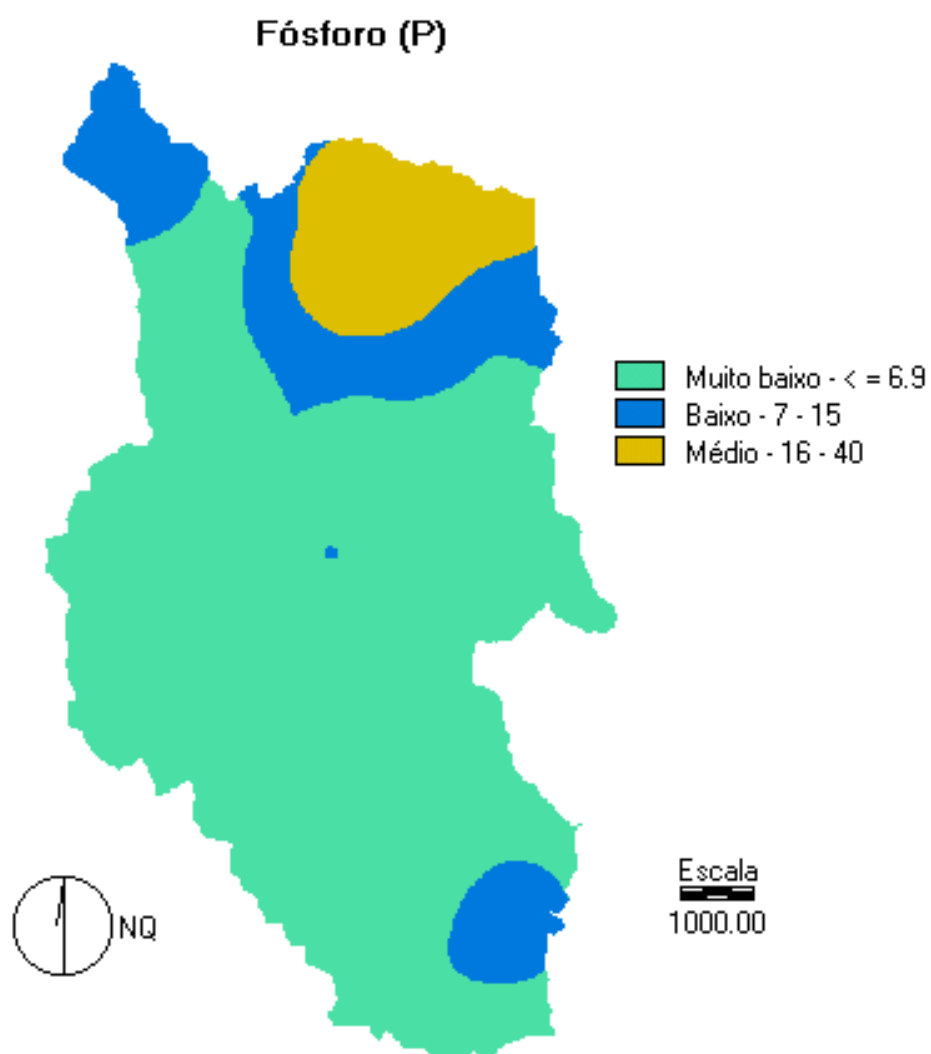


Figura 62 - Mapa da distribuição dos teores de Fósforo (P), avaliando o fator produtividade.

Apresentou 4.722 ha com teor de fósforo muito baixo, correspondente a 75 % da microbacia total, com teor de fósforo baixo, 1.005 ha de 7 a 15 ppm, e 593 ha com teor médio de P, de 16 a 40 ppm.

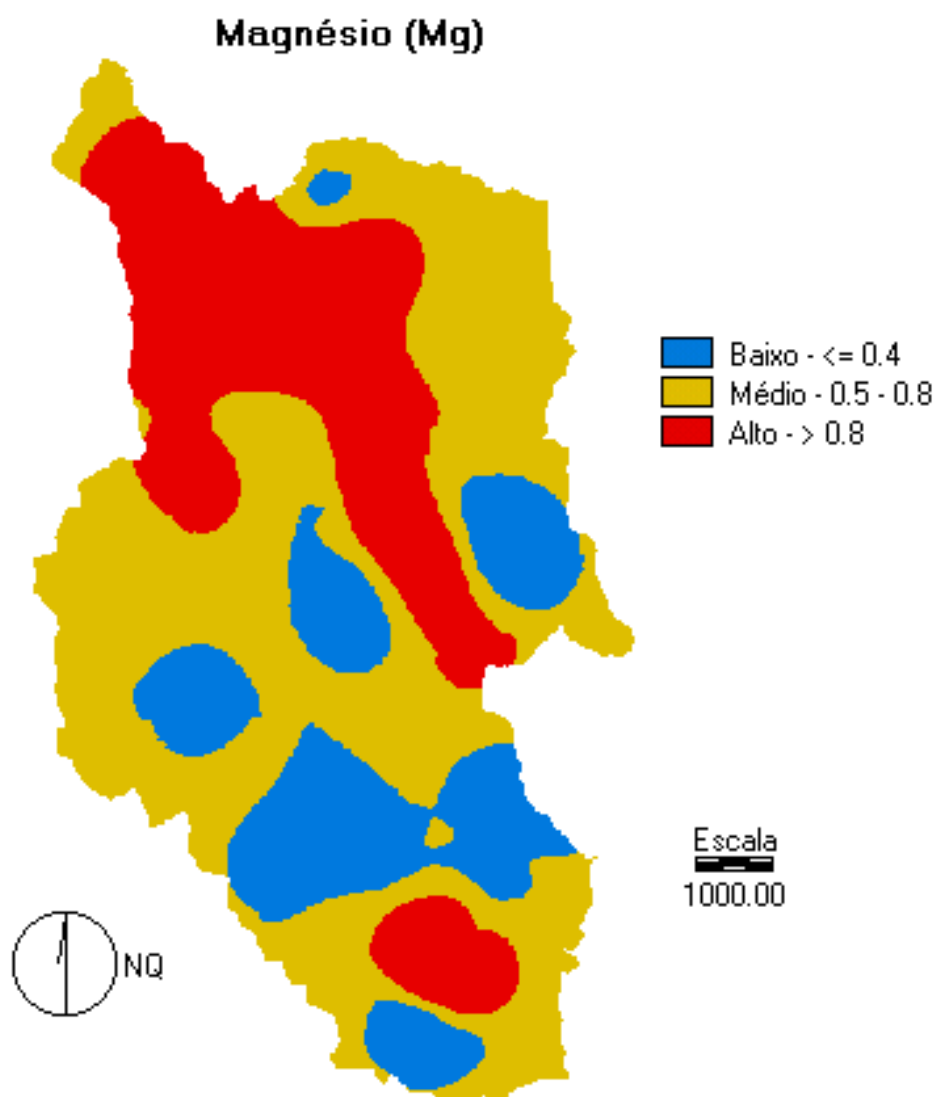


Figura 63 - Mapa da distribuição dos teores de Magnésio (Mg), avaliando o fator produtividade.

O teor médio de Mg, de 0.5 a 0.8 meq/100g, predominou na microbacia de estudo, apresentando 3.241 ha, 51 % da área total, uma vez que o teor alto de Mg ocupou 1.794 ha, 28 %, e 1.285 ha apresentaram teor baixo, menor que 0.4.

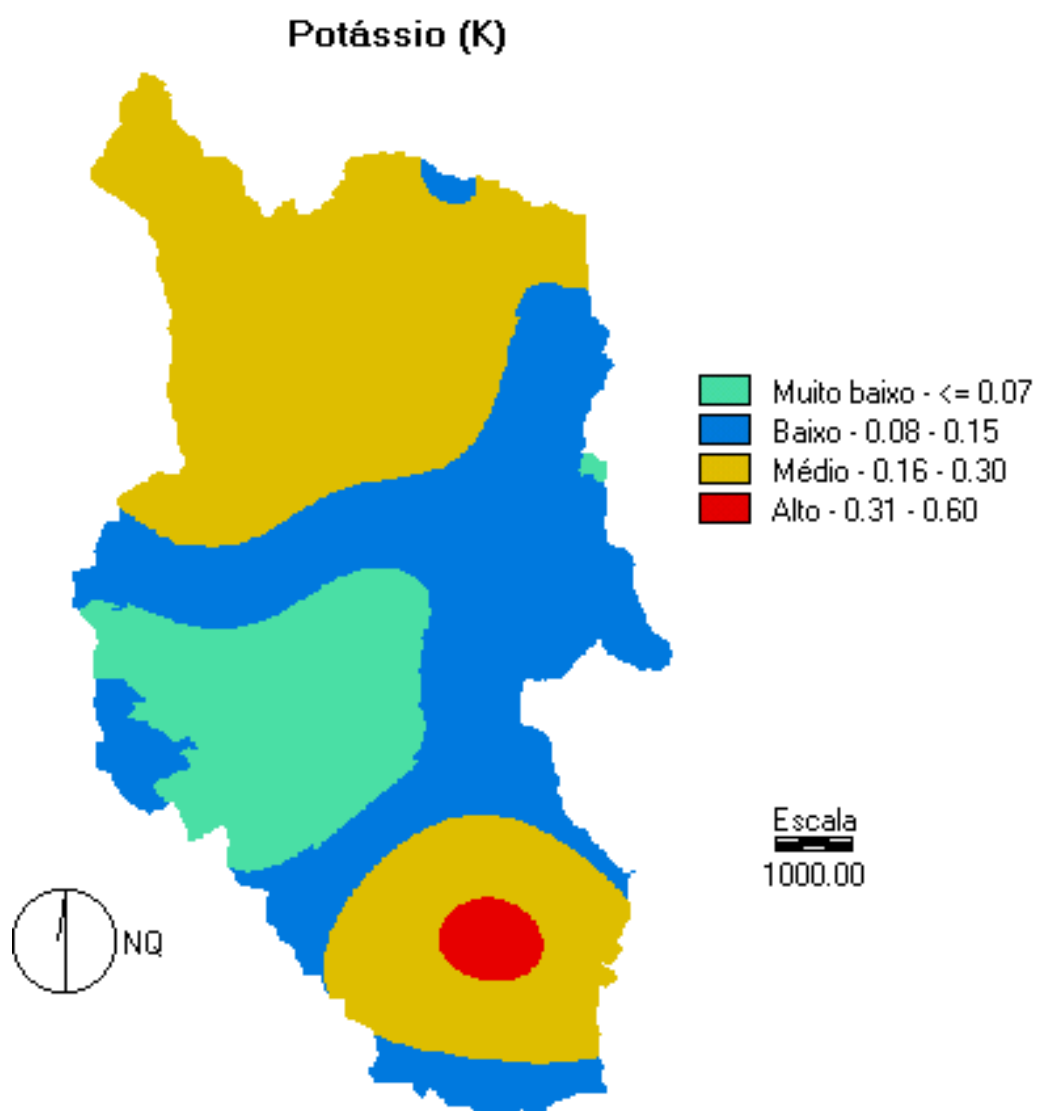


Figura 64 - Mapa da distribuição dos teores de Potássio (K), avaliando o fator produtividade.

O mapa de K apresenta uma área de 1.069 ha, com teor de K muito baixo, menor que 0,07 meq/100cm³; 2.280 ha com teor de K baixo; 0,08 a 0,15 meq/100cm³; 2.861 ha com teor de K médio, de 0,16 a 0,30 meq/100cm³; e 110 ha com teor de K alto, de 0,31 a 0,60 meq/100cm³. Não apresentou área com teor de K muito alto.

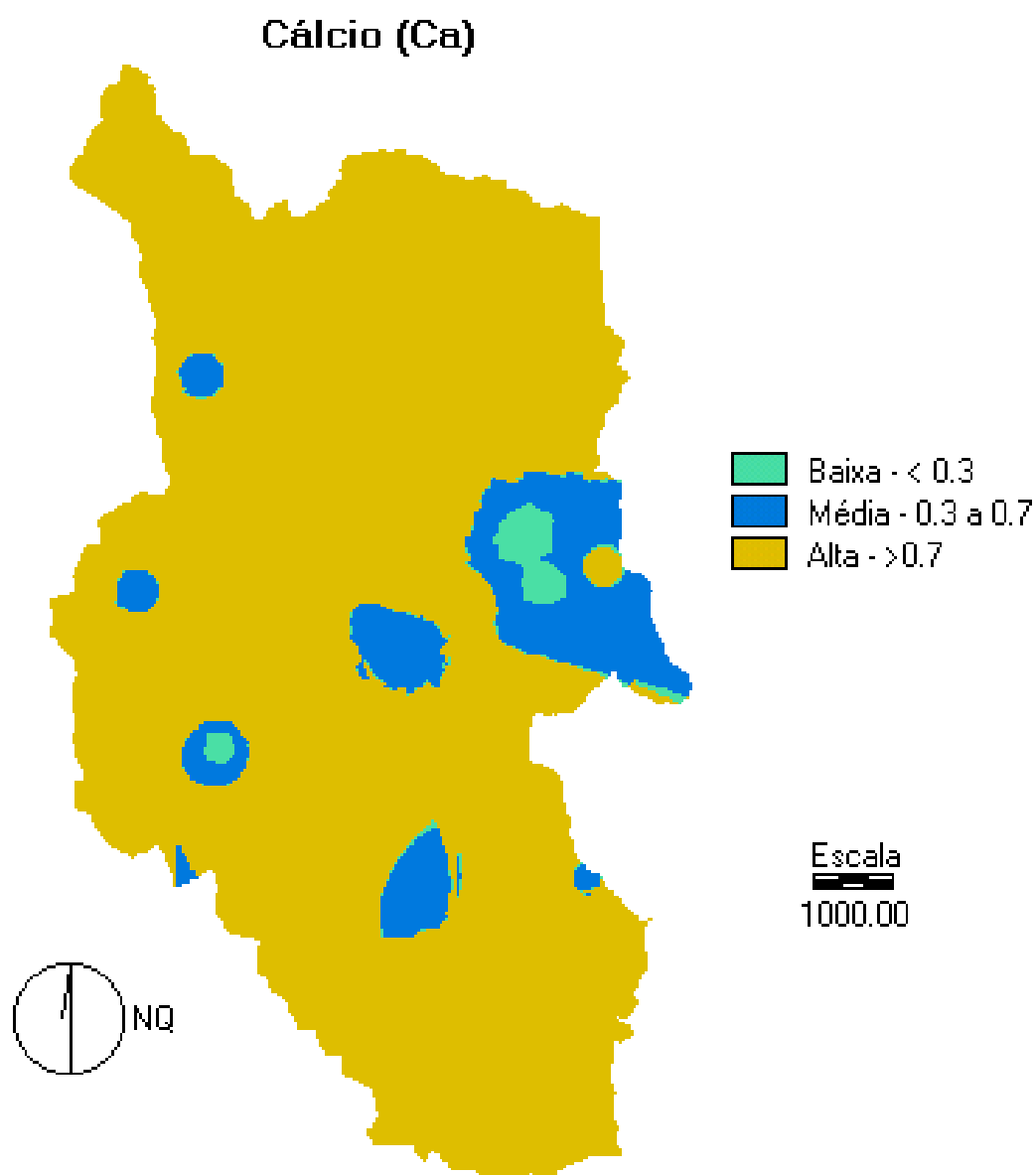


Figura 65 - Mapa de Cálcio (Ca), avaliando o fator produtividade.

Predominando a área com 5.616 ha, a microbacia de estudo apresentou alto teor de Ca, maior que 0,7 meq/100g; 602 ha de médio teor de Ca; e 102 ha de baixo teor de Ca, no nível menor que 0,3 meq/100g.

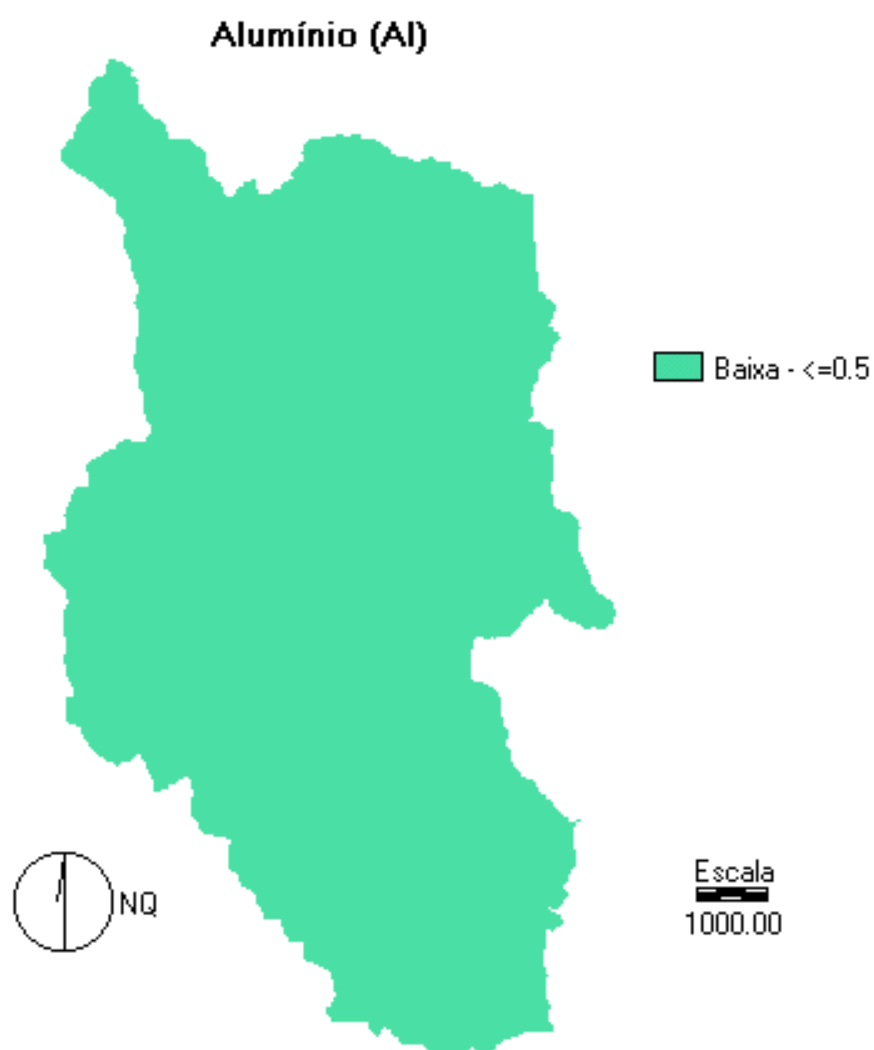


Figura 66 - Mapa de Alumínio (Al), avaliando o fator produtividade.

O mapa de Al apresentou 100 % com baixo teor de Alumínio, correspondendo a área total de 6.320 ha.

Avaliando o fator necessidade de água, os mapas de Água disponível, Condutividade hidráulica foram classificados de acordo com este parâmetro, como mostrado nas Figuras 67 a 68.

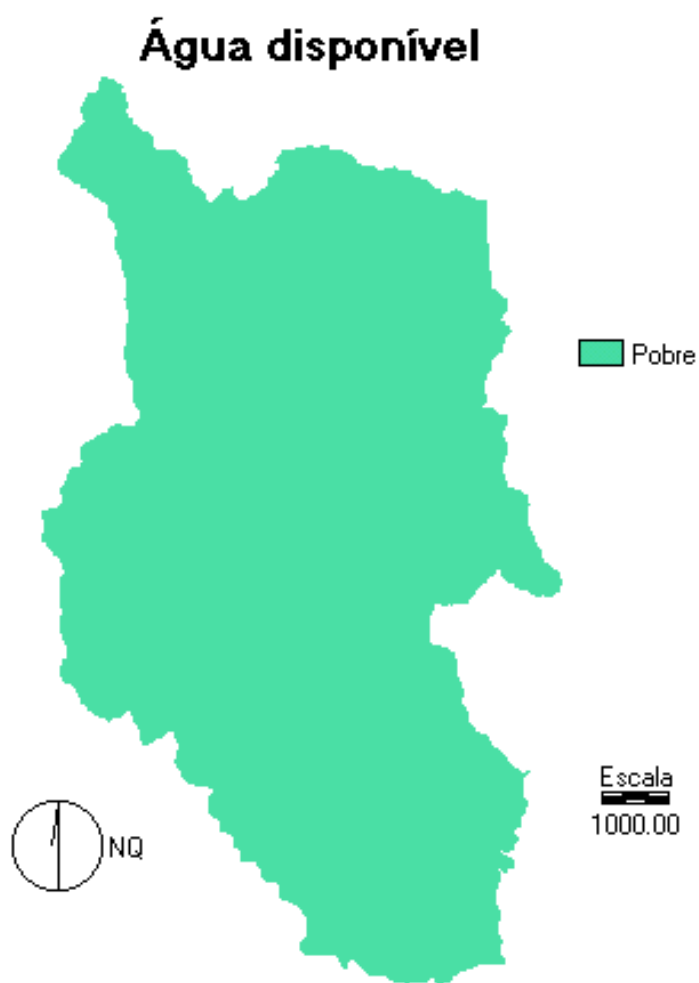


Figura 67- Mapa de Água disponível, avaliando o fator necessidade de Água.

O mesmo aconteceu com o mapa de água disponível, apresentando 100% da área, 6.320 ha com pobre teor de água disponível.

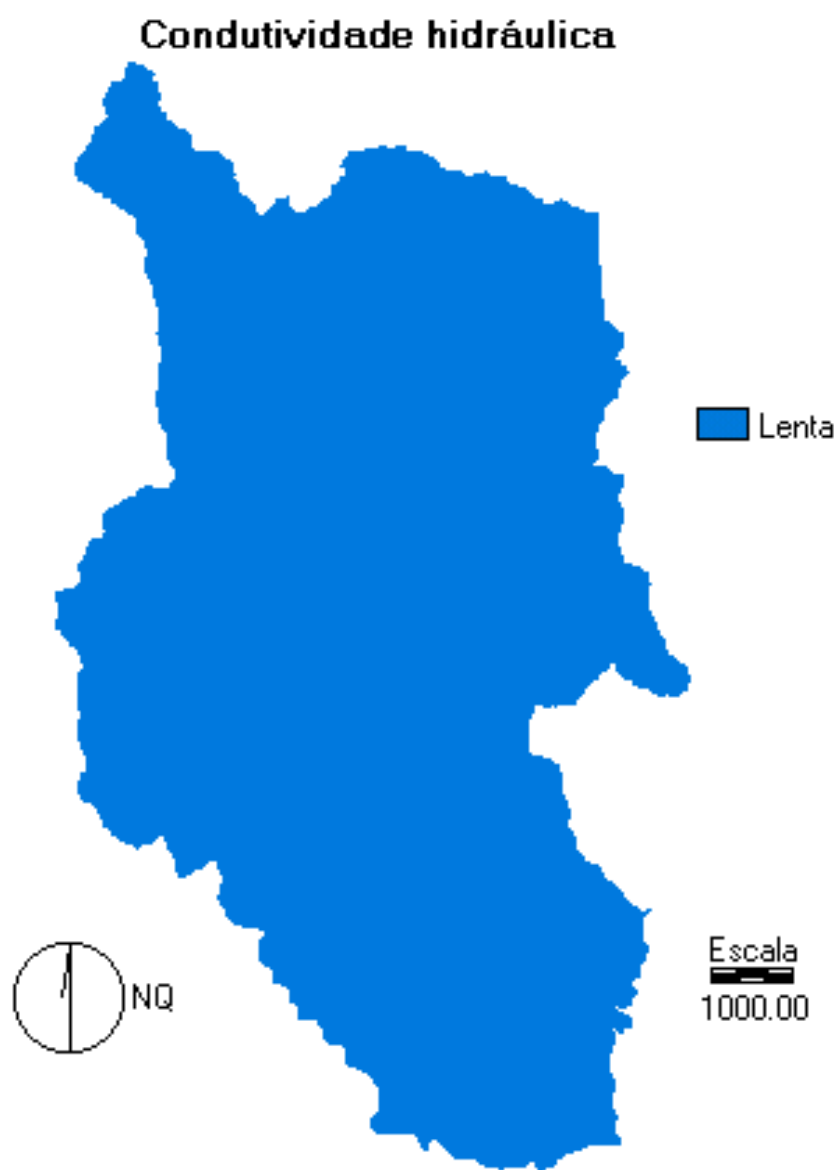


Figura 68- Mapa de Condutividade hidráulica, avaliando o fator necessidade de água.

O mapa de K_0 apresentou a área total da microbacia, 6.320 ha, com lenta condutividade hidráulica.

Os mapas de forma do relevo, declividade, permeabilidade, condutividade hidráulica, macroporosidade, profundidade do lençol freático, argila superficial e subsuperficial, a fim de conhecer a textura, avaliando o fator drenabilidade, foram classificados, apresentados nas Figuras 69 a 75.

A partir do mapa de solos (Zimback, 1997), exposto na Figura 69, foi feito o mapa da forma do relevo da área de estudo, como ilustrado na Figura 70.

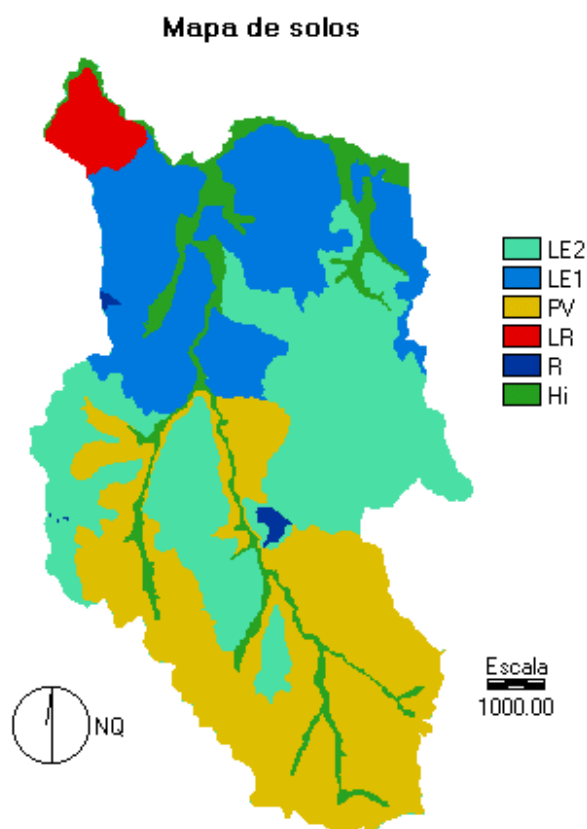


Figura 69 - Mapa de solos, a partir de Zimback, 1997.

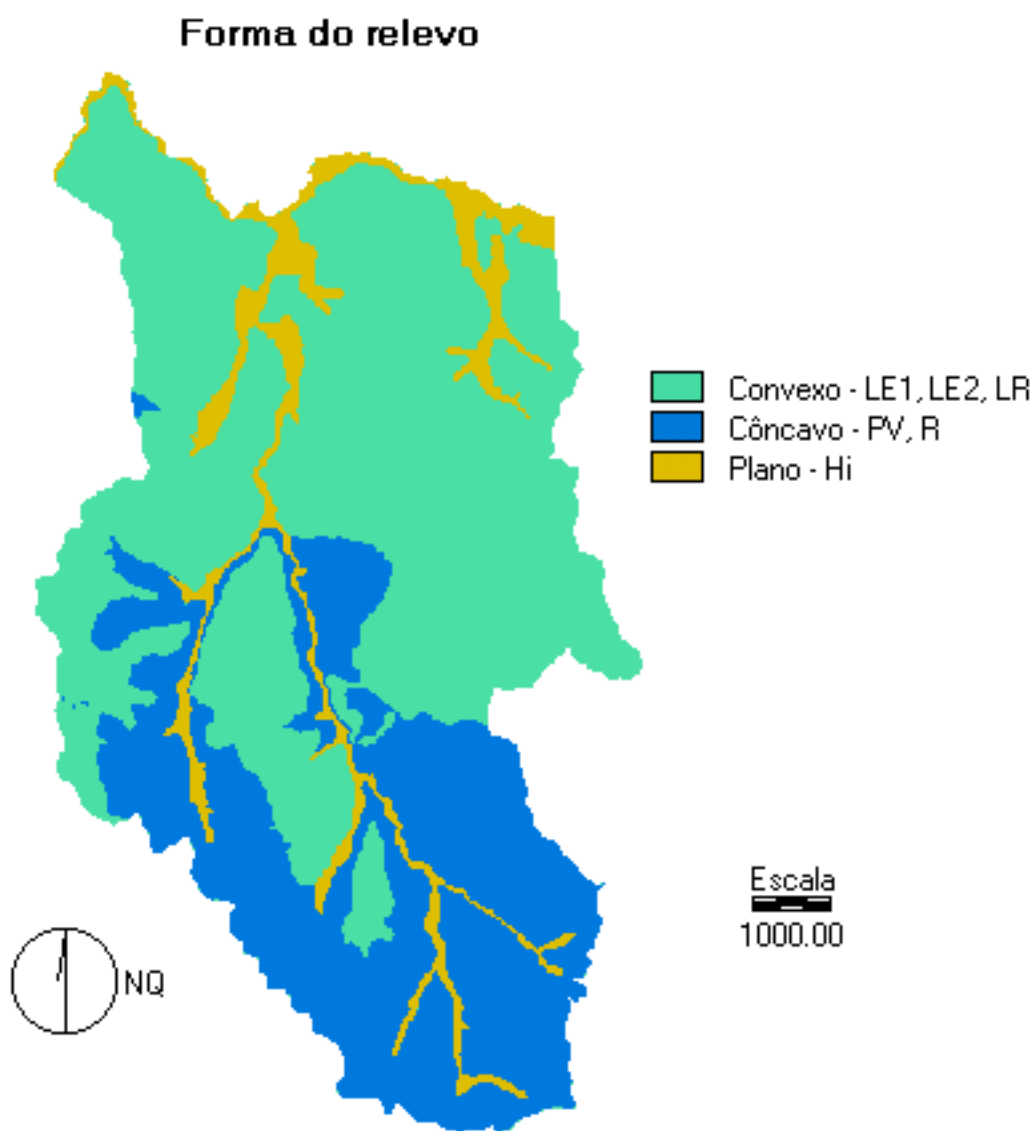


Figura 70 - Mapa de Forma do relevo, avaliando o fator drenabilidade.

A forma do relevo da área apresenta 3.726 ha de relevo convexo, 2.082 ha de relevo na forma côncavo e 518 ha de relevo plano.

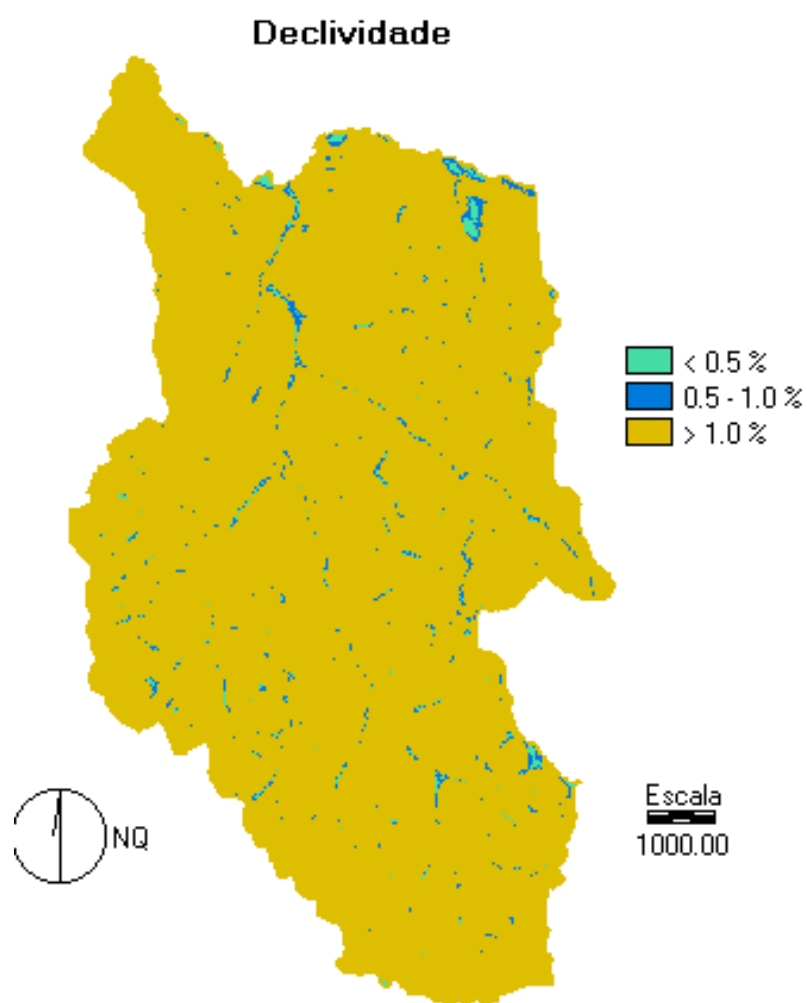


Figura 71 - Mapa de Declividade, avaliando o fator drenabilidade.

Noventa e nove por cento da área apresenta declividade maior que 1,0%, ou seja, 6.270 ha.

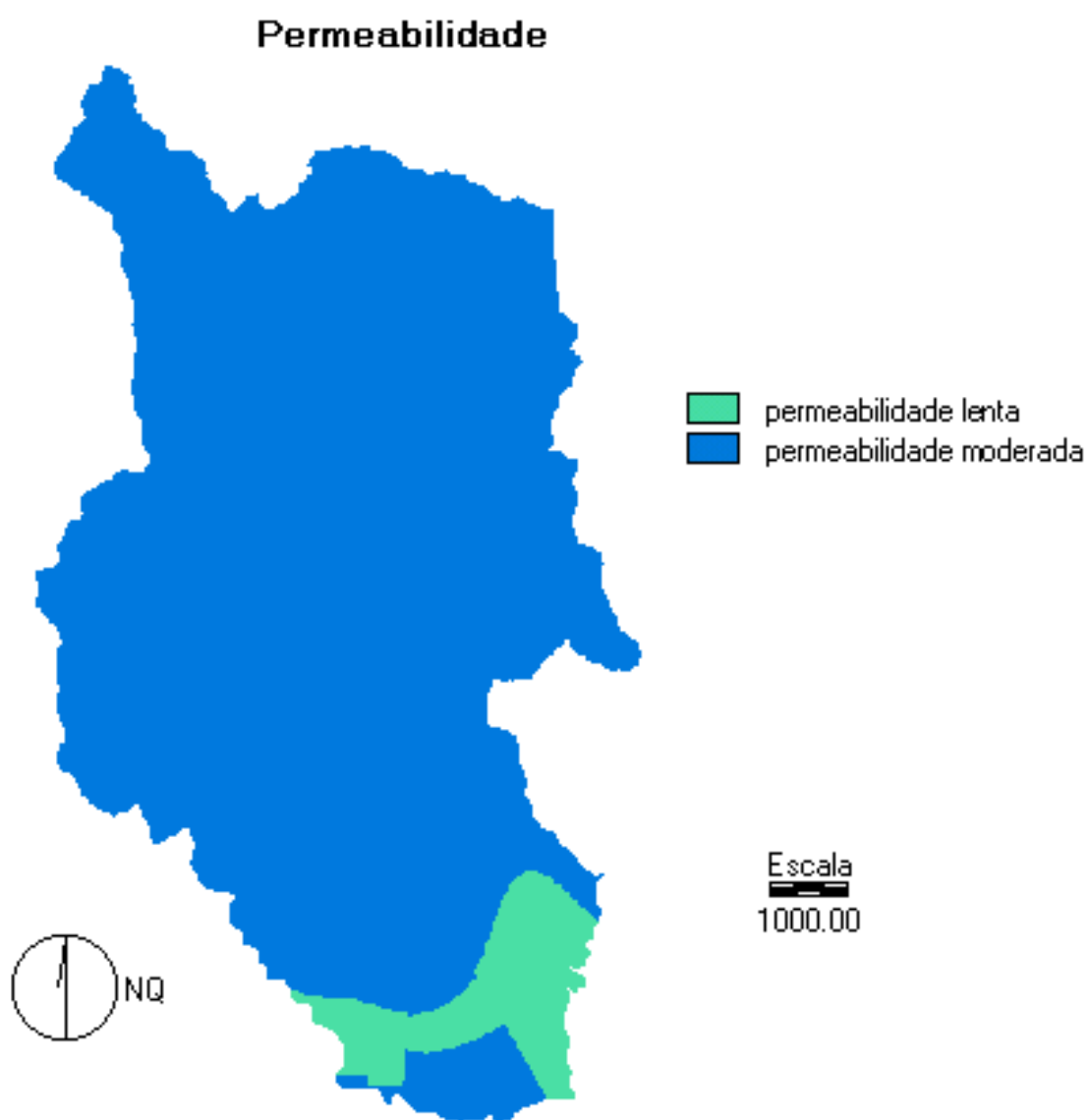


Figura 72 - Mapa de Permeabilidade, avaliando o fator drenabilidade.

O mapa de permeabilidade apresentou 93% da área total da microbacia em estudo, com moderada permeabilidade, o que significa 5.901 ha, apresentando lenta permeabilidade, 419 ha.

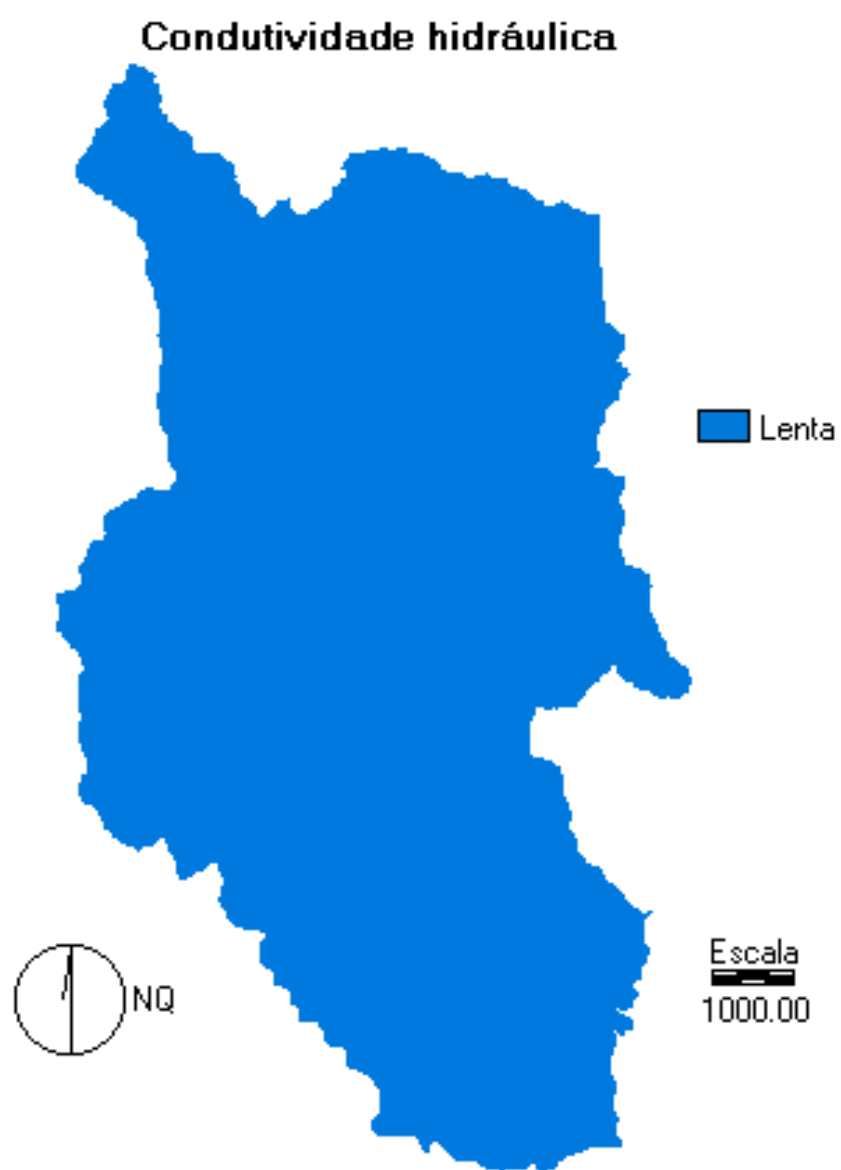


Figura 73 - Mapa de Condutividade hidráulica, avaliando o fator drenabilidade.

Cem por cento da área apresentou lenta condutividade hidráulica.

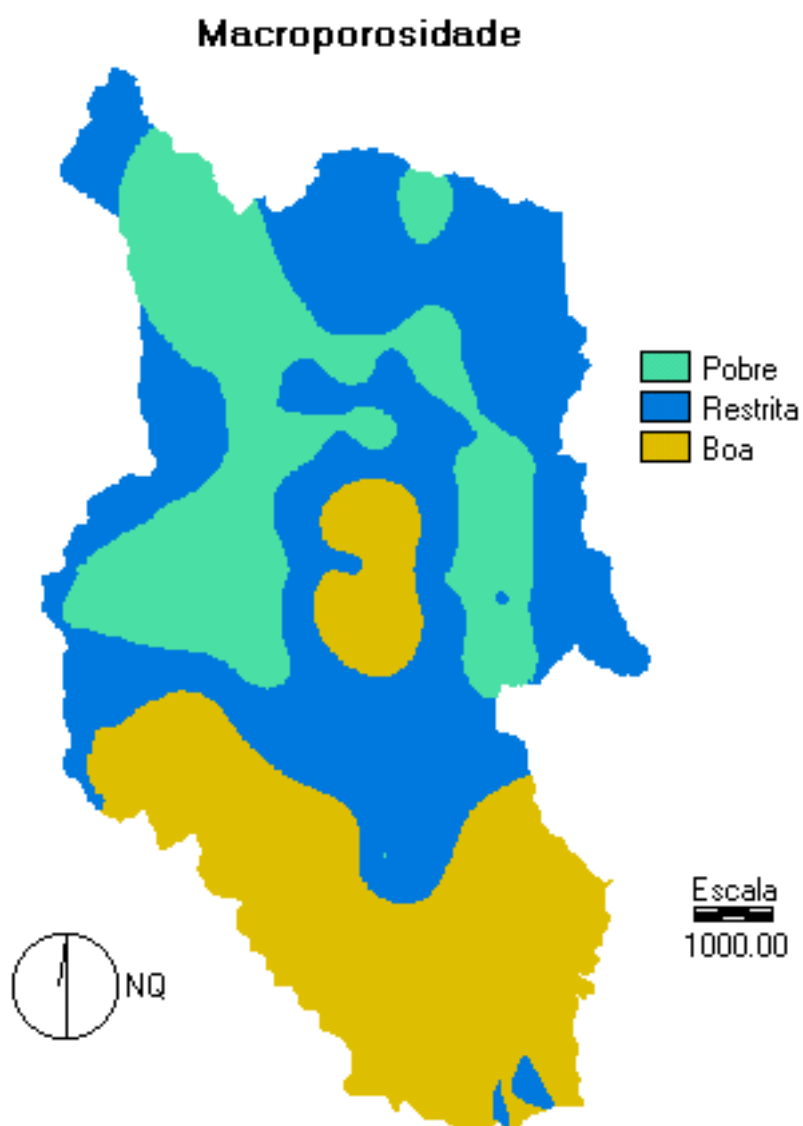


Figura 74 - Mapa de Macroporosidade, avaliando o fator drenabilidade.

O mapa de macroporosidade apresentou uma área de 2.779 ha com restrita macroporosidade, 1.943 ha com boa macroporosidade e 1.598 ha com pobre macroporosidade.

A partir da equação desenvolvida por Simões (2000), pode-se estimar a profundidade do lençol freático, a partir da distância da rede de drenagem, obtendo o mapa de profundidade do lençol freático, como mostra a Figura 75.

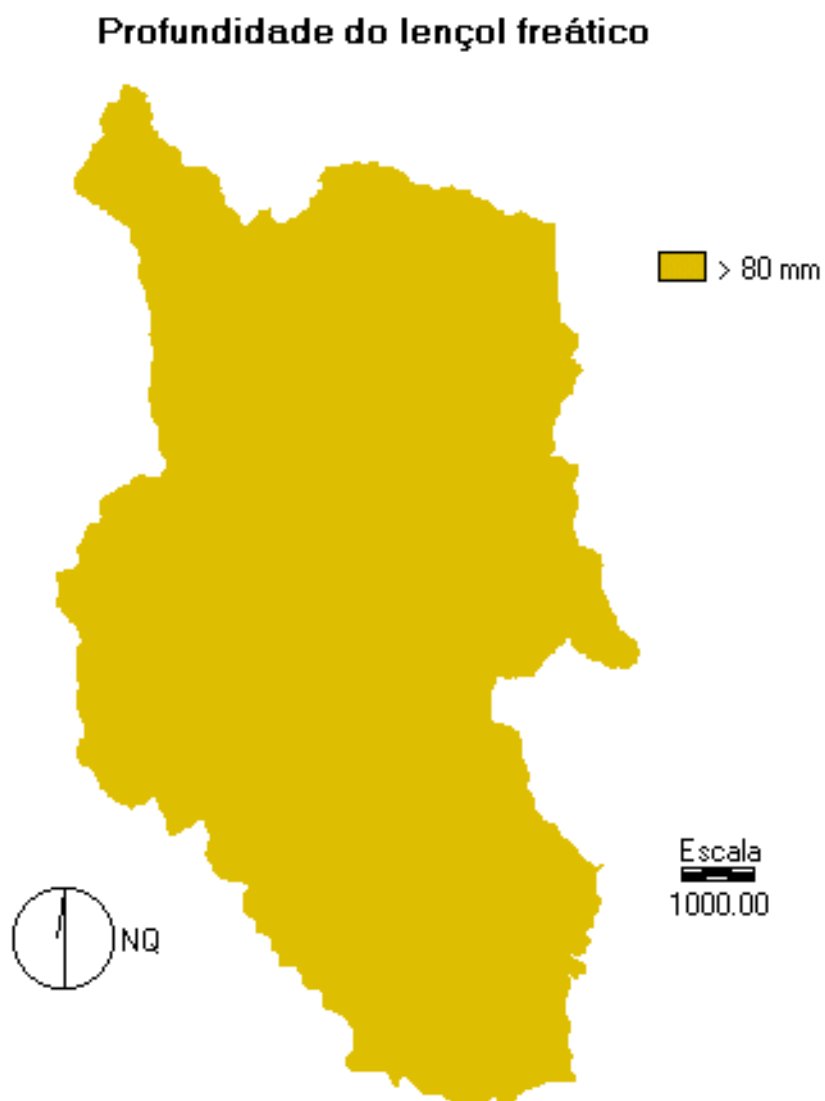


Figura 75 - Mapa de Profundidade do Lençol Freático, avaliando o fator drenabilidade.

A profundidade do lençol freático apresentou 100 % da área, 6.320 ha com mais de 80 mm de profundidade.

6.5 - Classificando terras para irrigação

Os mapas reclassificados foram cruzados entre si para posteriormente classificar a área da microbacia em estudo em terras para irrigação, conforme parâmetros próprios da irrigação estabelecidos para isto. As Figuras que se seguem estão apresentadas na ordem de fórmula básica para classificação de terras para irrigação.

A Figura 76 ilustra o mapa do uso atual da terra, limitado conforme classes para classificação de terras para irrigação.

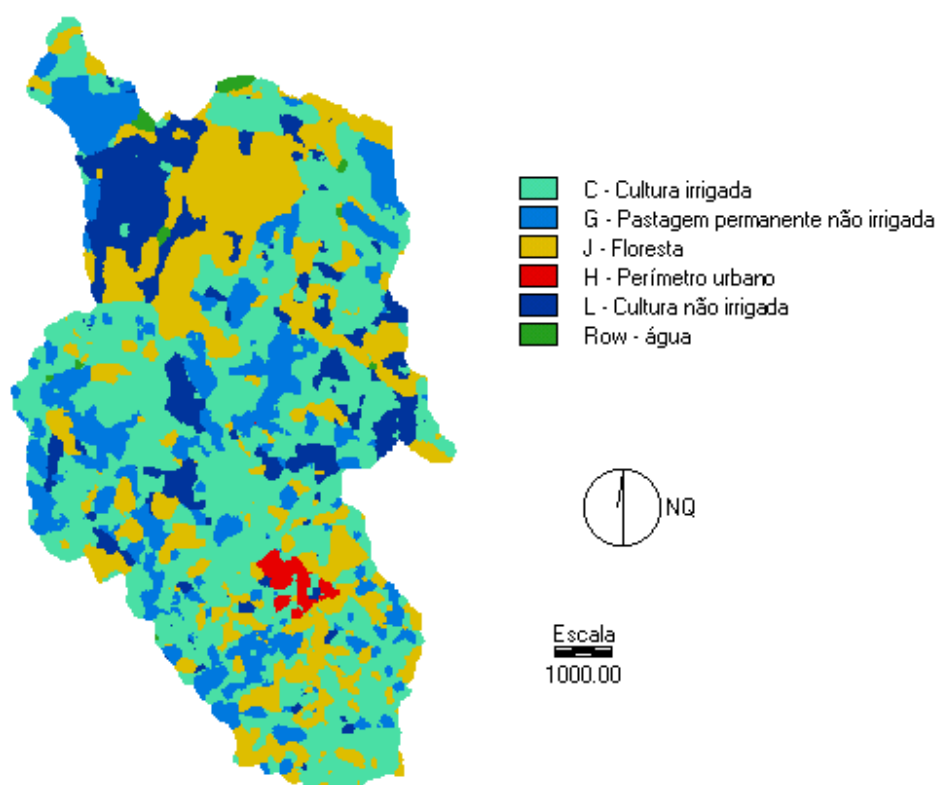


Figura 76 - Mapa de Uso atual da terra, conforme parâmetros para classificação de terras para irrigação.

Para facilitar o cruzamento com os mapas, o mapa de uso atual da terra foi delimitado em apenas duas classes, culturas irrigadas e culturas não irrigadas, como ilustra a Figura 77.

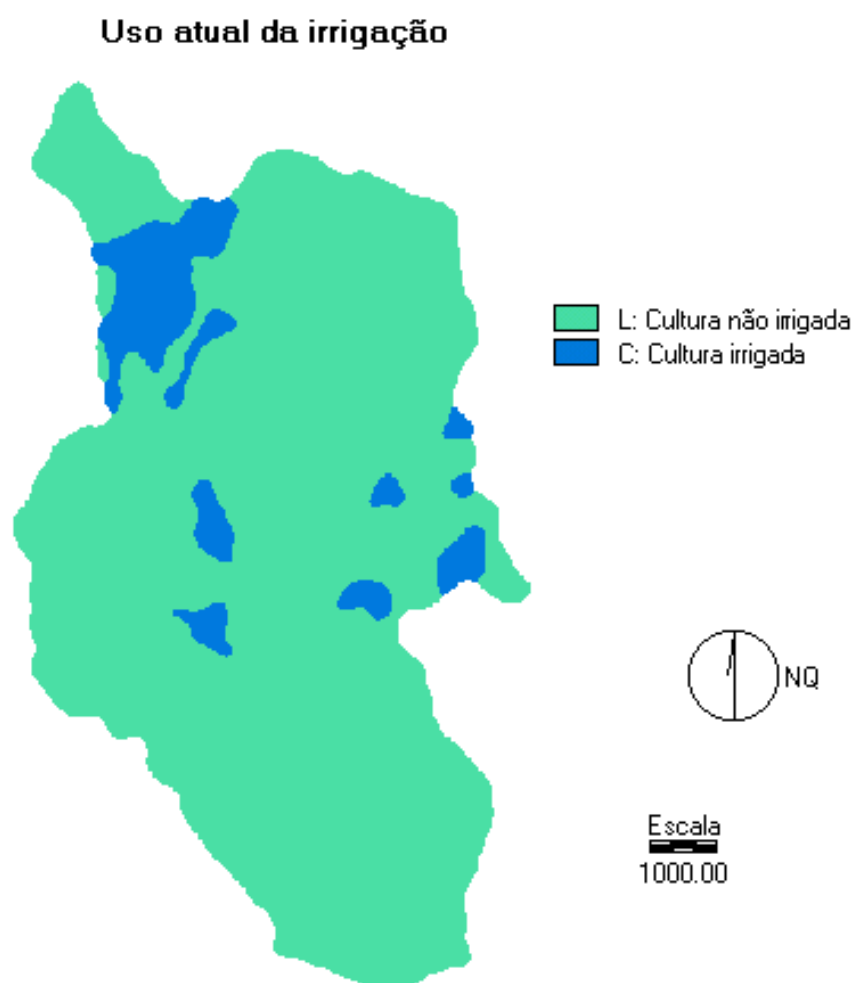


Figura 77 - Mapa de Uso atual da irrigação.

O uso atual da terra foi dividido em áreas com culturas não irrigadas, 5.729 ha, e áreas com culturas irrigadas, 591 ha.

O mapa de produtividade, quando cruzados os mapas de pH, CTC, Mg, Ca, Al, V%, P e K, é ilustrado na Figura 78.

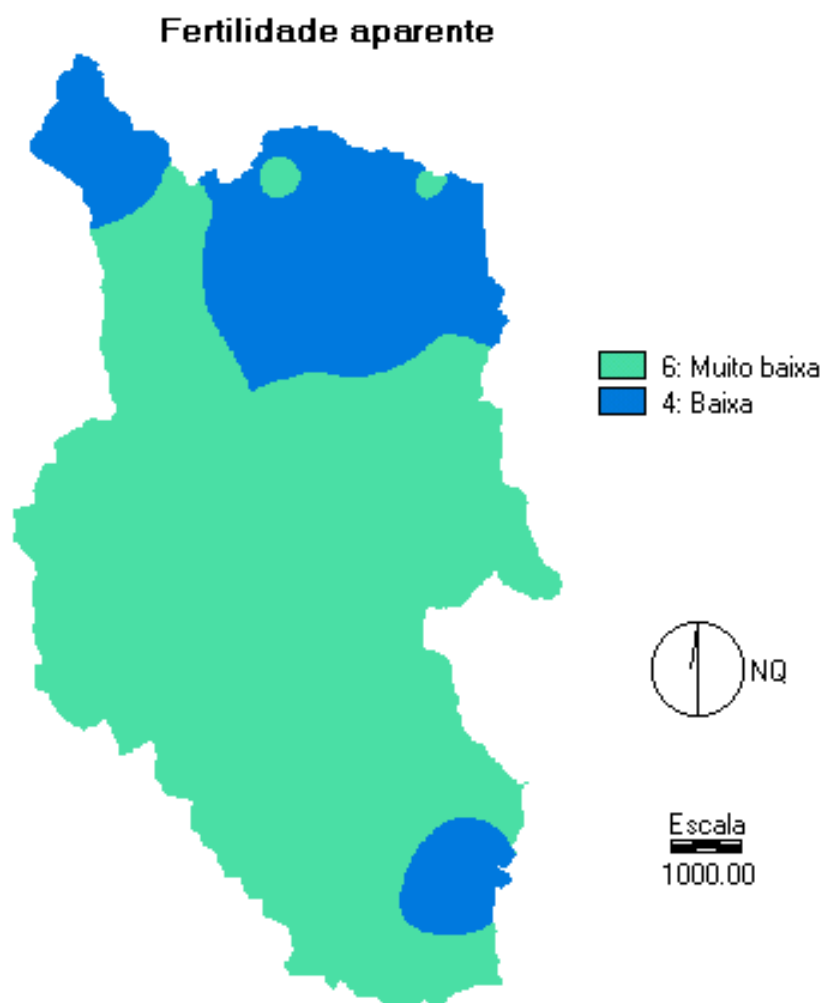


Figura 78 - Mapa de Fertilidade aparente.

O mapa de fertilidade aparente (produtividade), indica que a área estudada apresenta muita baixa produtividade na maior parte da área, representada por 4.764 ha e 1.556 ha classificando a área com baixa produtividade.

Analisando o custo de desenvolvimento da terra, classificou-se a área de estudo nas classes conforme mostra a Figura 79.

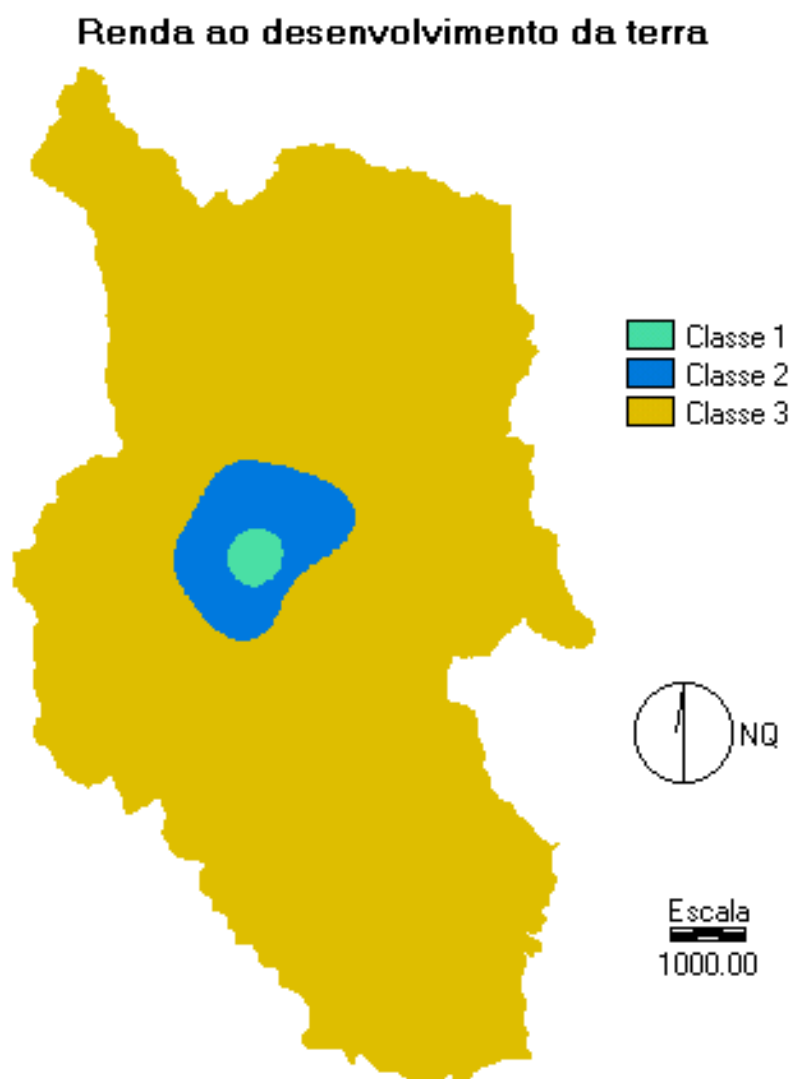


Figura 79- Mapa de Classe referente a renda remanescente o desenvolvimento da terra.

As classes que representam a renda que existe para ser investida na terra classificam a área com a maior parte na Classe 3, com 5.957 ha, 94 % da área total. Uma pequena área classificada na Classe 1 e 2, respectivamente, 42 ha e 321 ha.

Cruzando os mapas de água disponível e condutividade hidráulica, obteve-se o mapa de necessidade de água, conforme ilustrado na Figura 80.

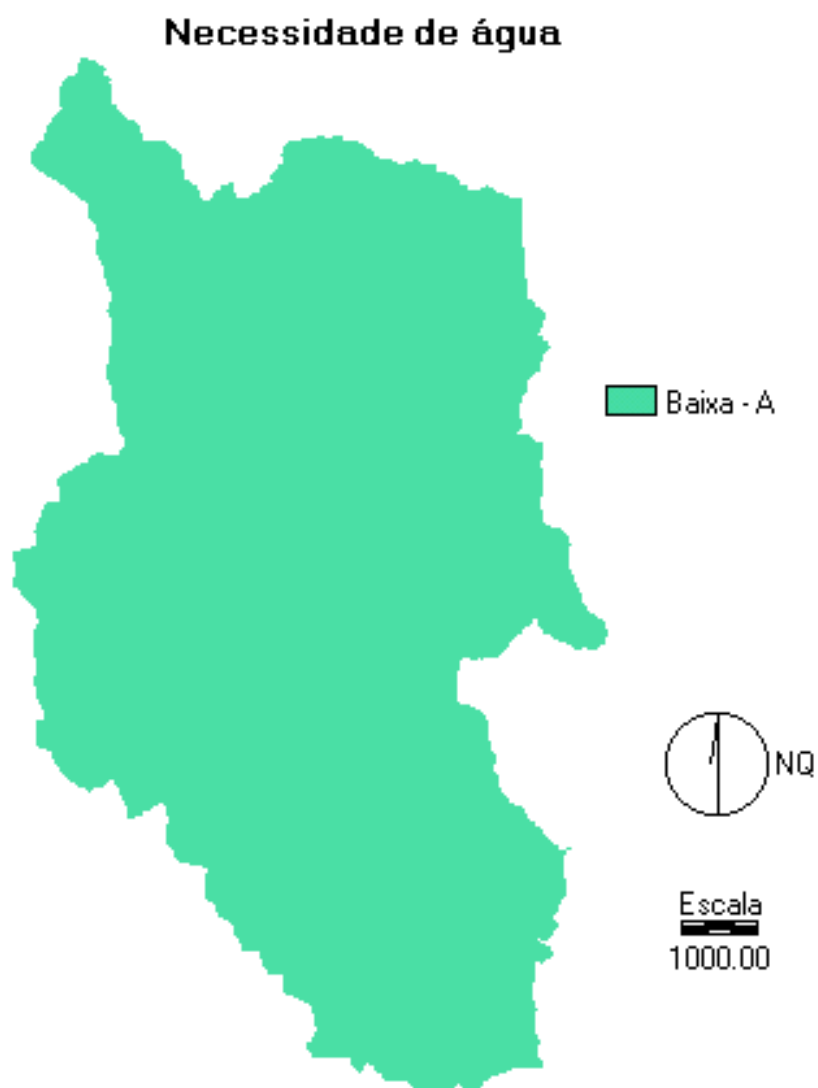


Figura 80 - Mapa de Necessidade de água.

A necessidade de água do lote é representada pela letra A, indicando baixa necessidade de água em toda a Microbacia estudada.

O mapa de drenabilidade, apresentado na Figura 81, obtido multiplicando os mapas de forma do relevo, declividade, permeabilidade, condutividade hidráulica, macroporosidade e profundidade do lençol freático, é apresentado abaixo.

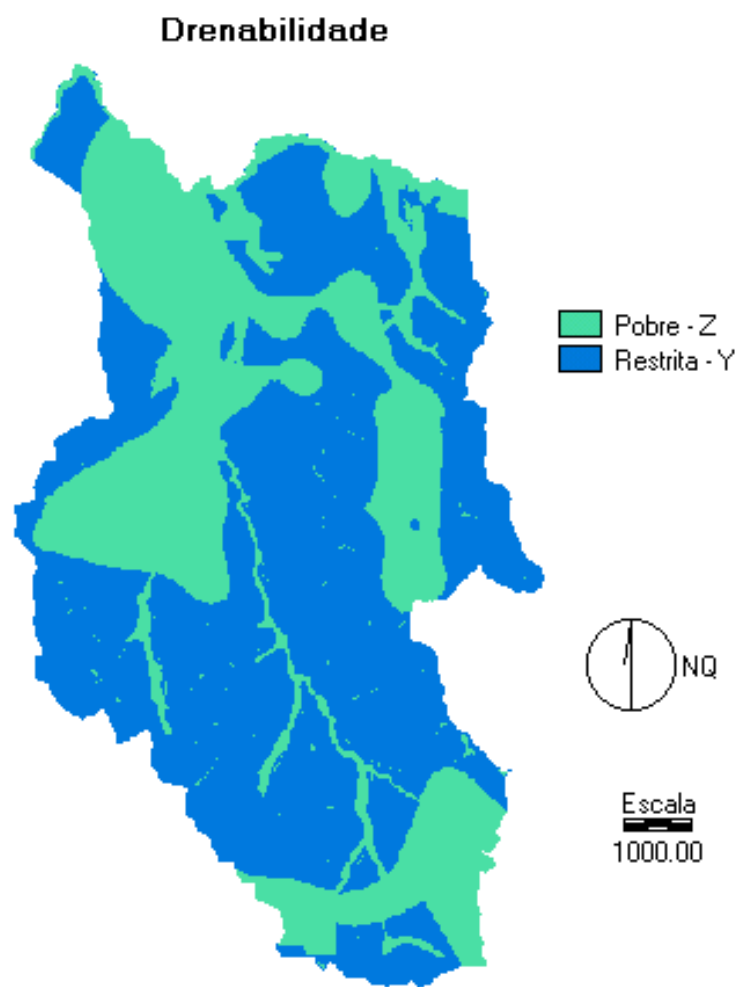


Figura 81 - Mapa de Drenabilidade.

A indicação da drenabilidade dividiu a área em duas classes, existindo uma área de 3.902 ha com restrita drenabilidade, indicada pela letra Y e pela letra Z, indicando pobre drenabilidade, um área de 2.418 ha.

Cruzando as deficiências de topografia, como declividade (g), nivelamento (u), rochosidade (r) e cobertura vegetal (c), obteve-se o mapa com problemas de topografia, como mostra a Figura 82.

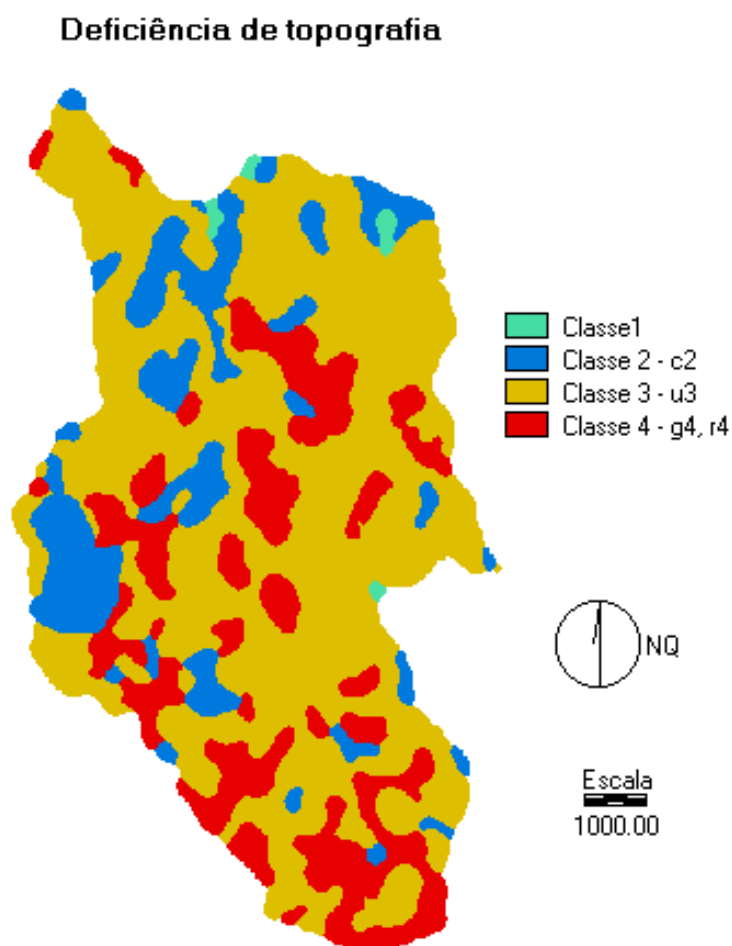


Figura 82 - Mapa de deficiência de topografia, legendado com os devidos problemas.

O mapa resultante com as deficiências de topografia ilustra que existe uma pequena área, 42 ha, classificado como Classe1, porém a maior área, com 3.844 ha da Classe 3, apresentando deficiências de nivelamento, com grau de deficiência nível 3, ou seja, refere-se a alta necessidade de movimentação de terras para regularização da superfície do terreno.

Com os mapas de profundidade efetiva (k), textura (v), erodibilidade (e), água disponível (q), infiltração (i), permeabilidade (p), pedregosidade (x) e fertilidade (y), pôde-se obter o mapa de deficiências causadas pelo solo, ilustrado na Figura 83.

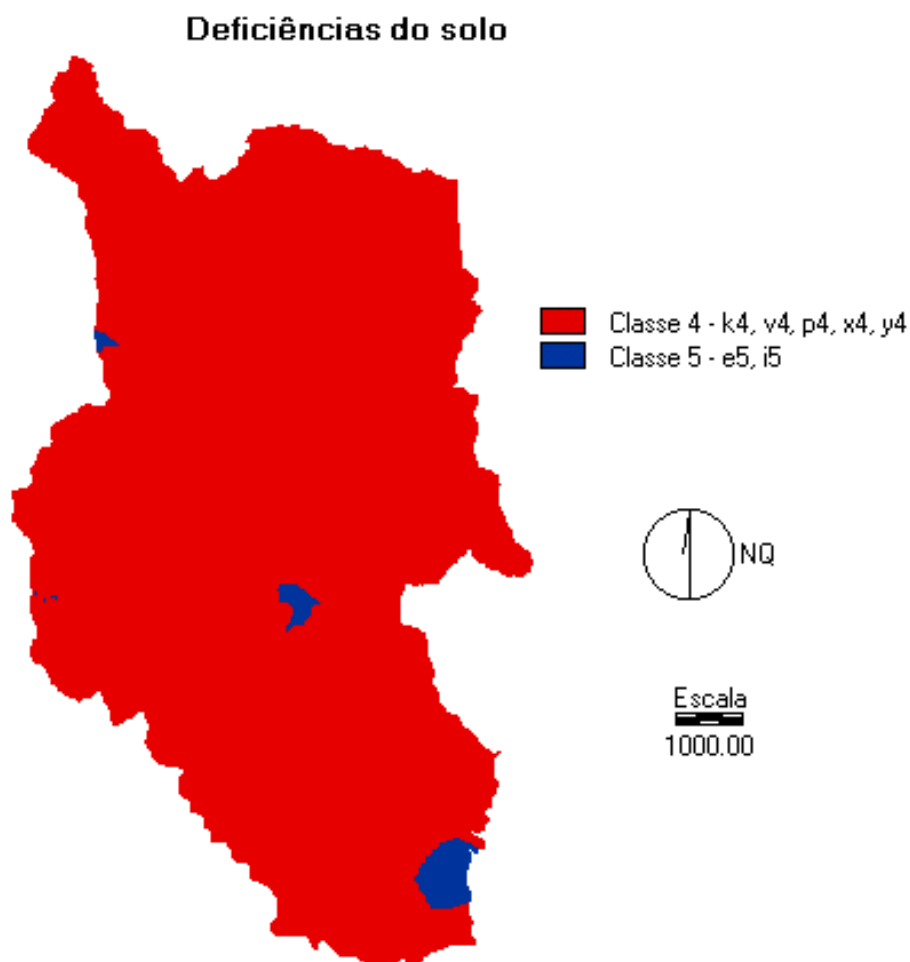


Figura 83 - Mapa de deficiência de solo, legendado com os devidos problemas.

A maior parte da área, representando 98% da área total, engloba a Classe 4, com deficiências de profundidade efetiva, textura, permeabilidade, pedregosidade e fertilidade.

Cruzando os mapas de inundação (f), lençol freático (w) e escoamento (o), obteve-se o mapa de deficiência de drenagem, mostrado na Figura 84.

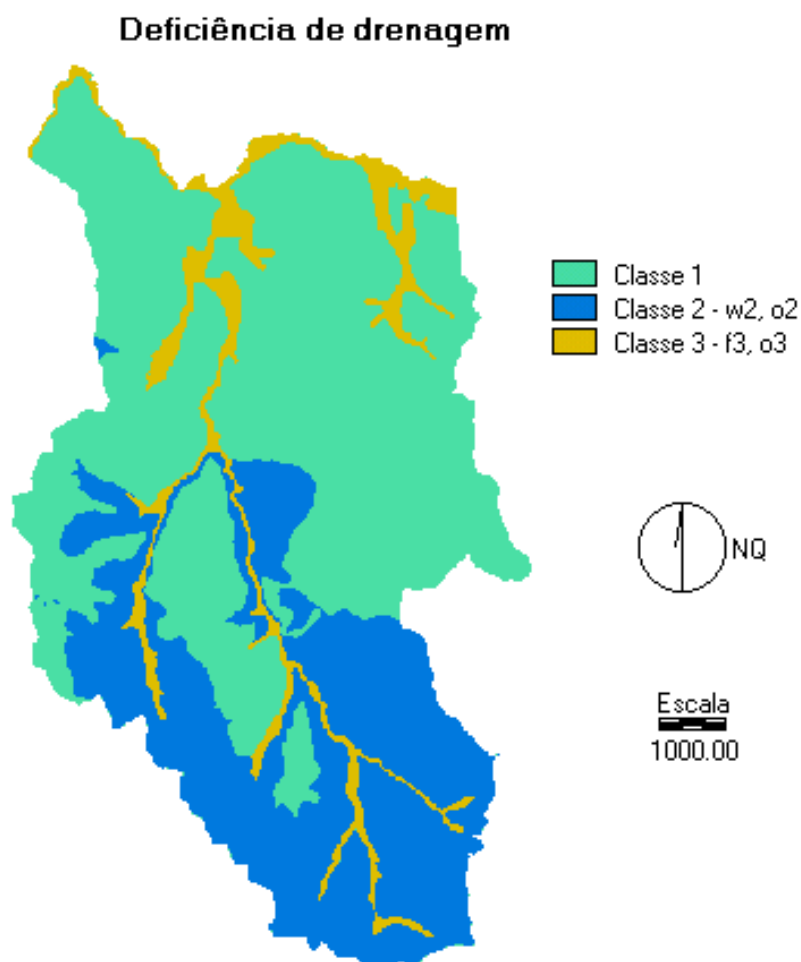


Figura 84 - Mapa de deficiência de drenagem, legendado com os devidos problemas.

A área de estudo abrange uma área de 3.727 ha, classificada como Classe 1, no que diz respeito as deficiências de drenagem. Aproximadamente 2.083 ha na Classe 2 apresentando deficiências de lençol freático e escoamento. E, finalmente, 510 ha classificada na Classe 3, com deficiências de infiltração e escoamento.

Sobrepondo todos os mapas que fazem parte do denominador da fórmula básica para classificação de terras para irrigação, têm-se na Figura 85, a classificação da área estudada para fins de irrigação.

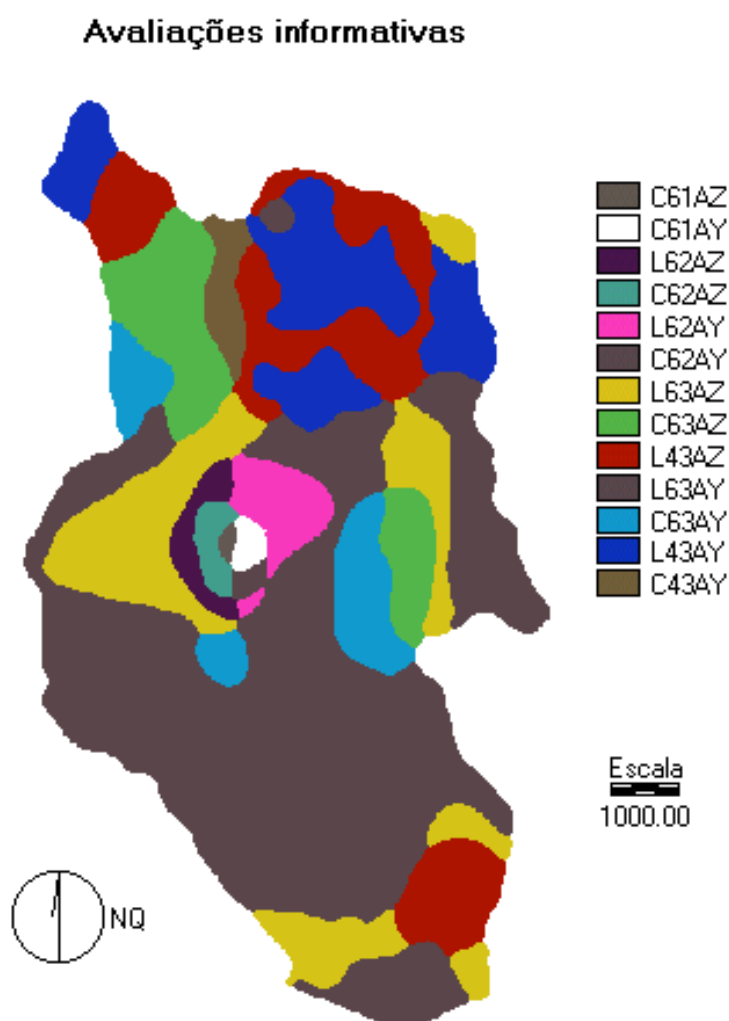


Figura 85 – Mapa das avaliações informativas.

As avaliações informativas incluem uso da terra, produtividade, custo de desenvolvimento, necessidade de água e drenabilidade. Essas avaliações devem ser representadas por símbolos apropriados no denominador do modelo de representação cartográfica para classificação de terras.

Após obter os mapas de todas as deficiências, pôde-se então, obter o mapa geral das deficiências encontradas na área, como mostra a Figura 86.

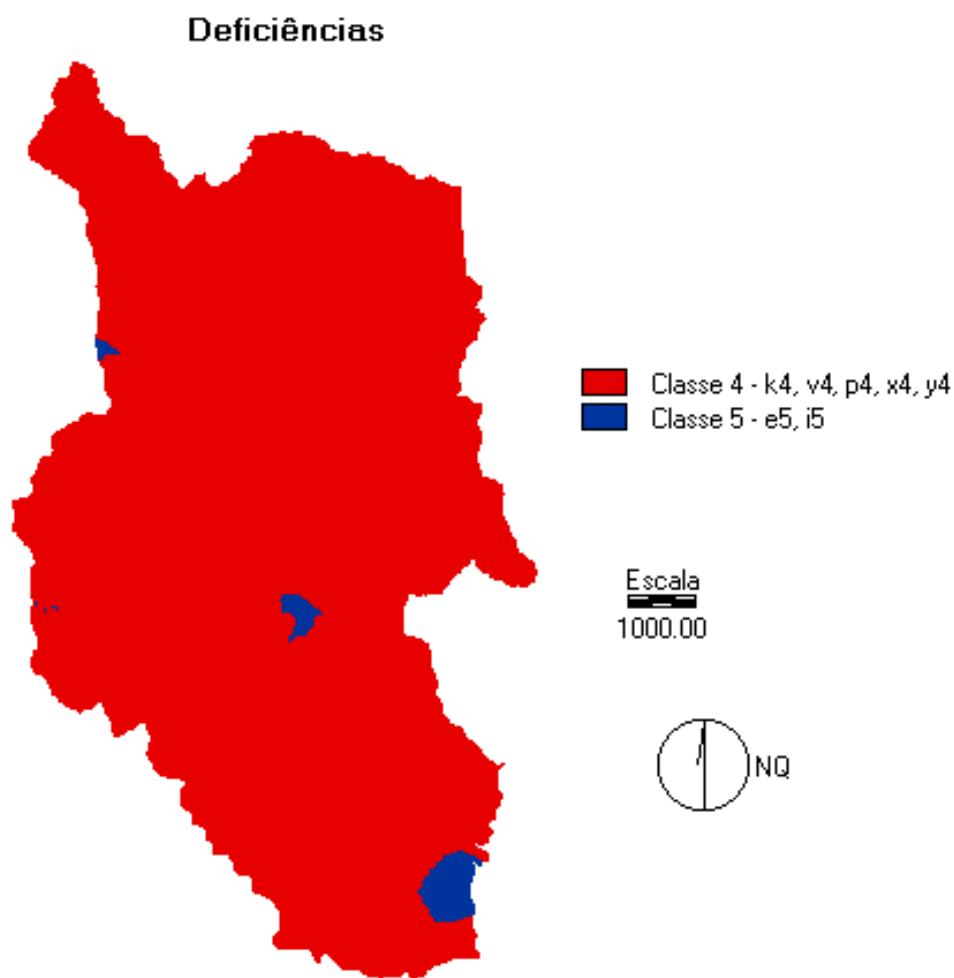


Figura 86 - Mapa de deficiências da área de estudo, legendado com as devidas deficiências.

O mapa final das deficiências mostra que a área é classificada em Classe 4, com 6.000ha e, Classe 5, com o restante da área, 320ha. Apresentando deficiências de topografia e solo.

Segundo Carter (1993), as terras incluídas na Classe 4 devem ser limitadas a situações raras ou específicas e apenas a projetos que geralmente apresentarem alto retorno econômico e renda líquida do lote com uma ampla faixa de domínio. A Classe 4 deve representar a terra arável de mais baixa qualidade. As terras nesta classe têm certas deficiências excessivas, como deficiências de topografia, declividade e nivelamento, e deficiências de solos, como, profundidade efetiva, permeabilidade, pedregosidade e fertilidade, que resultam numa utilização restrita, entretanto, possuem os requisitos mínimos para uma terra arável, no âmbito do plano proposto. Podem ser similares às terras de outras classes aráveis, mas apresentam deficiências mais severas. Em todo caso, apresentarão menor produtividade, custo de produção e de desenvolvimento mais altos, ou combinações destes, mais restritivas que as das terras de Classe 3, devendo ser usada somente em raras situações. Normalmente é aplicável apenas em estudos em que são considerados cultivos especiais ou com alto retorno. Suas propriedades características devem ser logo reconhecidas para permitir uma avaliação adequada no levantamento.

Representando 5% da área total, a Classe 5, não arável, diz que a arabilidade das terras incluídas nesta classe não pode ser determinada pelos métodos de classificação de rotina; porém estas terras aparentam possuir valor potencial suficiente para serem separadas para estudos especiais. A designação em Classe 5 é provisória, e normalmente muda para classe arável apropriada ou para a 6, após completada a classificação. Se algum problema relacionado com estas terras não for resolvido, deve-se assumir que elas são não aráveis sob as formulações do projeto proposto. Estas terras têm deficiências de solo específicas, como: erodibilidade e infiltração.

6.6 – Mapa de terras para irrigação

O mapa final de terras para irrigação é apresentado na Figura 87.

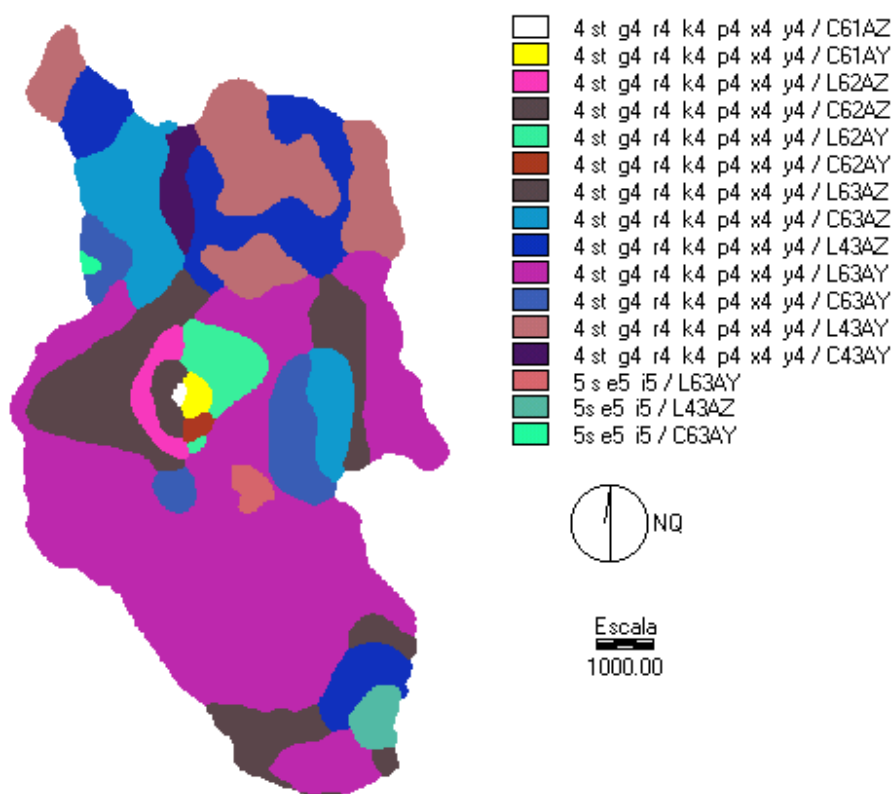


Figura 87 - Mapa classificado de acordo com os parâmetros de terras para irrigação da parte inicial da Microbacia do Rio Pardo.

O mapa resultante da área apresentou em uma só figura todas as deficiências e as classes que delimitaram a Microbacia, ou seja, Classe 4 e 5, deficiências de declividade (g), rochosidade (r), profundidade efetiva (K), erodibilidade (e), infiltração (i), permeabilidade (p), pedregosidade (x) e fertilidade (y).

7- CONCLUSÃO

Pela classificação de terras para irrigação, pode-se concluir:

- a parte inicial da Microbacia do Rio Pardo foi classificada, para fins de irrigação, na Classe 4, com 6.000ha, 95 % da área total e na Classe 5, 320ha, 5 % do restante da área. A Classe 4 apresentou deficiências de topografia, como declividade e rochiosidade, e deficiências de solo, como profundidade efetiva, pedregosidade, permeabilidade e fertilidade, todas com grau de deficiência nível 4. A Classe 5 apresentou deficiências de solo, como erodibilidade e infiltração, com grau de deficiência nível 5;
- em relação ao custo de desenvolvimento da terra, a área apresenta as Classes 1, 2 e 3;
- o SIG IDRISI 32 apresentou suficientes condições ao desenvolvimento do trabalho, sendo eficiente na determinação da classificação de terras para irrigação na parte inicial da microbacia do Rio Pardo, o que permite o uso para casos semelhantes.

8- REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AREVALO, G. V., BOTERO, P. J. Un metodo para evaluar la aptitud de la tierras com fines de riego y drenaje. *Acta Agron.*, v.40, p.100-2, 1990.

ASSAD, M .L L., HAMADA, E., CAVALIERI, A. Sistema de informações geográficas na avaliação de terras para agricultura. In: ASSAD, E. D., SANO, E. E. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. 2.ed. Brasília: Centro de Pesquisa Agropecuário dos Cerrados/EMBRAPA, 1998. p.191-232.

BONHAM-CARTER, G. F. *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS*. Pergamon, 1994. 397p.

BRAGA, L. P. V. *Geoestatística e aplicações*. Rio de Janeiro, Departamento de Métodos Estatísticos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990. 36p.

BRITES, R. S., SOARES, V. P., COSTA, T. C. C., NETO, A. S. Geoprocessamento e meio ambiente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, CARTOGRAFIA, SENSORIAMENTO E GEOPROCESSAMENTO. 27, 1998, Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: Universidade Federal de Lavras/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.141-63.

BURROUGH, P. A., VAN GAANS, P. F. M., HOOTSMANS, R. Continuous classification in soil survey: spatial correlation, confusion and boundaries. *Geoderma*, v.77, p.115-35, 1992.

CALIJURI, M. L., MEIRA, A. D., PRUSKI, F. F. Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, CARTOGRAFIA, SENSORIAMENTO E GEOPROCESSAMENTO. 27, 1998, Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: Universidade Federal de Lavras/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.167-225.

CÂMARA, G., MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D., SANO, E. E. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. 2.ed. Brasília: Centro de Pesquisas Agropecuária dos Cerrados/EMBRAPA, 1998. p.3-12.

CÂMARA, G., ORTIZ, M. J. Sistemas de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, CARTOGRAFIA, SENSORIAMENTO E GEOPROCESSAMENTO. 27,

1998, Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: Universidade Federal de Lavras/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.59-88.

CAMBARDELLA, C. A., MOORMAN, T. B., NOVAK, J. M., PARKIN, T.B., KARLEN, D. L., TURCO, R. F., KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.58, p.1501-11, 1994.

CARTER, V. H. *Classificação de terras para irrigação*. Brasília: Secretaria de Irrigação, Ministério da Integração Regional, 1993. 203p.

CASTRO, J. F. M. *Princípios de cartografia sistemática, cartografia temática e sistema de informação geográfica (SIG)*. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, 1996. 40p.

CIOLLARO, G., ROMANO, N. Spatial variability of the hydraulic properties of a volcanic soil. *Geoderma*, v.65, p.263-82, 1995.

CURI, N., RESENDE, M., LOPES, A. S. Solos para irrigação: curso de engenharia de irrigação. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, 1987. 62 p. (Módulo 1).

DAINESE, R. C. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual*.

Botucatu, 2001. 186p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-
Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

DAVID, M. *Handbook of applied advanced geostatistical ore sererve estimation*. New York:
Elsevier, 1988. 216p.

DAVIDOFF, B., SELIM, H. M. Correlation between spatialy variable soil moisture content
and soil temperature. *Soil Sci.*, v.145, n.1, p.1-10, 1988.

DAVIS, B. M. Uses and abuses of cross-validation in geostatistics. *Math. Geol.*, v.19, p.241-8,
1987.

EASTMAN, J. R. *IDRISI 32 for Windows: user's guide: version 2.0*. Massachusettes, Clark
University, 1999. 2v.

ELIAS, A. R., CARVALHO, W. A., FREIRE, O., ZIMBACK, C. R. L., SABINO, W. C.
Mapa digital de erosão da Microbacia do Alto Limoeiro. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE
CONTROLE DE EROSÃO, 4, 1998, Presidente Prudente. *Anais...* Presidente Prudente:
Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. (CDRom).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. *Classificação brasileira de solos*.
Brasília, 1999. 412p.

- FERRANTE, J. E. T. O uso do sensoriamento remoto e do sistema de informação geográfica no mapeamento geotécnico regional. *ITEM: Irrigação e Tecnologia*. v.42, p.17-20, 1990.
- FREITAS, P. L., KLER, J. C. Manejo integrado de solos em micros hidrográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 8, 1990, Londrina. *Anais...*Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 1996. p. 43-57.
- GS+. *GS+ eostatistical for environmental sciences: version 5.0*. Michigan: Gamma Design Software, 2000. (software).
- GUPTA, R. P., AGGARWAL, P., CHAUHAN, A. S. Spatial variability analysis of bulk density as a guide for tillage. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, v.43, p.549-57, 1995.
- HAGAN, R. M., HAISE, H. R., EDMINISTER, T. W. *Irrigation of agricultural lands*. Colorado: Am. Soc. Agron., 1967. p127-73.
- HAMADA, E., CAVALIERI, A., ROCHA, J. V., KÜPPER, R. B. Classificação das terras no sistema de capacidade de uso utilizando o SIG-IDRISI. In: SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI, 1, 1998, Campinas. *Resumos...* Campinas: 1996.
- IBGE. *Carta do Brasil: quadrícula de Pardinho*. Rio de Janeiro. 1982. Mapa color., dimensões 59.5 x 74.3cm. Escala 1:50.000.

IGC. *Carta séries SF-22-Z-B-VI-3-SO-F a SF-22-Z-D-III-1-NE-E*. Rio de Janeiro. 1978. Mapa p&b., dimensões 87.2 x 68.6 cm. Escala 1:10.000.

IPT. *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1981. Mapa color., Escala 1:500.000.

IRVIN, B. J., VENTURA, S. J., SLATER, B. K. Fussy and isodata classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant Valley, Wisconsin. *Geoderma*, v.77, p.137-54, 1997.

ISAAKS, E. H., SRIVASTAVA, R. M. *An introduction to applied geostatistics*. New York, Oxford University Press, 1989. 560p.

JOURNEL, A. C., HUIJBREGTS, C. J. *Mining geostatistics*. London: Academic Press, 1978. 600p.

KIRDA, C., HARDARSON, G., ZAPATA, F. Spatial variability of root zone soil water status and of fertilizer uptake by forage crops. *Soil Technol.*, v.1, p.223-34, 1988.

LANGRAN, G. *Time in geographic information systems*. Taylor & Francis, 1993. 189p.

LASLETT, G. M., McBRATNEY, A. B., PAHL, P., HUTCHINSON, M. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. *J. Soil Sci.*, v.38, p.325-41, 1987.

- LEPSCH, I. F., BELLINAZZI Jr., R., BERTOLINI, D., ESPÍNDOLA, C. R. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4º aproximação*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.
- LEY, G. J., LARYEA, K. B. Spatial variability in penetration resistance of a hardsetting tropical Alfisol. *Soil & Tillage Res.*, v.29, p.367-81, 1994.
- MALLANTS, D., MOHANTY, B. P., JACQUES, D., FEYEN, J. Spatial variability of hydraulic properties in a multi-layered soil profile. *Soil Sci.*, v.161, p.167-81, 1996.
- MARKER, H. J., MAXWELL, H. B., ANDERSON, J. U. *Soil associations and classification for irrigation Union Conty. Res. Rep. New Mexico Agric. Exp. Stn.*, v.250, p.1-36, 1973.
- MARX, D. B., GILMOUR, J. T., SCOTT, H. D., FERGUSON, J. A. Effects of long-term water management in a humid region on spatial variability of soil chemical status. *Soil Sci.*, v.145, p.188-93, 1988.
- MATOS, C. A. O. *Variabilidade espacial de Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) no milho: métodos geoestatísticos e de estatística clássica*. Botucatu, 2000. 72p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Proteção de Plantas)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- McBRATNEY, A. B., HART, G. A., McGARRY, D. The use of region partitioning to

improve the representation of geostatistically mapped soil attributes. *J. Soil Sci.*, v.42, p.513-32, 1991.

MOOLMAN, J. H., VAN HUYSSTEM, A. A. Geostatistical analysis of the penetrometer soil strength of a deep ploughed soil. *Soil & Tillage Res.*, v.15, p.11-24, 1989.

PARKIN, T. AB., ROBINSON, J. A. Analysis of lognormal data. *Adv. Soil Sci.*, v.20. p.191-235, 1992.

RAMALHO FILHO, A., BEEK, K.J. *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras*. 3.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária/EMBRAPA, 1995. 65Pp.

REICHARDT, K., BACCHI, O. O. S., VILLAGRA, M. M., TURATTI, A. L., PEDROSA, Z. O. Hydraulic variability in space and time in a dark red latosol of the tropics. *Geoderma*, v.60, p.159-68, 1993.

RIBEIRO, F. L. *Sistemas de informações geográficas aplicados ao mapeamento dos usos atual e adequado da terra do alto Rio Pardo – Botucatu (SP)*. Botucatu, 1998. 114p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

- RIBEIRO JÚNIOR, P. J. *Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo*. Piracicaba, 1995. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Estatística e Experimentação Agronômica). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA: MECANIZAÇÃO E AGRICULTURA DE PRECISÃO. 27, 1998, Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: Universidade Federal de Lavras/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.1-30.
- ROCHA, J. S. M. *Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas*. Santa Maria: Edições Universidade Federal de Santa Maria, 1991. 181p.
- ROCHA, J. S. M. *Manual de projetos ambientais*. Santa Maria: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Santa Maria. 1997. 423p.
- RODRIGUES, M. *Introdução ao geoprocessamento*. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/USP. 23 a 25 de maio de 1990, p.1-26.
- ROGOWSKI, A. S., WOLF, J. K. Incorporating variability into soil map unit delineations. *Soil Sci. Soc Am. J.*, v.58, p.163-74, 1994.

- ROSSI, R. E., DUMGAN, J. L., BECK, L. R. Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing. *Remote Sens. Environ.*, v.49, p.32-40, 1994.
- SALVIANO, A. A. C., VIEIRA, S. R., SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* (L.) em área severamente erodida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v.22, p.155-22, 1998.
- SCHWAB, G. O., FANGMEIER, D. D., ELLIOT, W. J. *Soil and water management systems*. New York: John Willey, 1993. 371p.
- SHOUSE, P. J., RUSSELL, W. B., BURDEN, D. S., SELIM, L.B., VAN GENUCHTEN, M. T. Spatial variability of soil water retention functions in a silt loam soil. *Soil Sci.*, v.159, p.1-12, 1995.
- SILVA, A. B. *Sistemas de informações geo-referenciadas: uma introdução*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1998.
- SIMÕES, L. B. *Avaliação das áreas de preservação permanente da Bacia do Rio Ribeirão Lavapés, Botucatu, SP, através de sistema de informações geográficas (SIG-IDRISI) – Botucatu (SP)*. Botucatu, 1996. 145p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

- SIMÕES, L. B. *Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias*. Botucatu, 2000. 171p. Dissertação (Doutorado em Agronomia /Energia na Agricultura)) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- SOUZA, L. S., COGO, N. P., VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedade físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.21, p.367-72, 1997.
- SPANHOL, F. A., LEAL, L. L., DALLABRIDA, R. M., PEREIRA, S. A. R., KISSULA, S. R. Princípios básicos de geoprocessamento. In: WORKSHOP DE SOFTWARES DO NÚCLEO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS. 2, 1999, Unioeste, Campus de Cascavél.
- STAR, J., ESTES, J. *Geographic information systems: an introduction*. Prentice Hall, 1990. 303p.
- STEIN, A., HOOGERWERF, M., BOUMA, J. Use of soil map delineations to improve (co)kriging of point data on moisture deficits. *Geoderma*, v.43, p.163-77, 1988.
- TAKEDA, E. Y. *Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de uma associação de solos sob a videira (Vitis vinífera L.) em Vitória Brasil – SP*. Ilha Solteira, 2000. 102p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista.
- TEIXEIRA, A. L. A., MORETTI, E., CHISTOFOLETTI, A. *Introdução aos sistemas de*

informação geográfica. Rio Claro: UNESP, 1992.

TRANGMAR, B. B., YOST, R. S., UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.*, v.38, p.45-94, 1985.

VAN ES, H. M., VAN ES, C. L. Spatial nature of randomization and its effect on the outcome of field experiments. *Agron. J.*, v.85, p.420-8, 1993.

VENTURIERI, A., SANTOS, J. R. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: ASSAD, E. D., SANO, E. E. *Sistema de informações geográficas. aplicações na agricultura*. 2.ed. rev. ampl. Brasília: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados/ EMBRAPA, 1998. p.351-71.

VIEIRA, S. R., CASTRO, O. M., TOPP, G. C. Spatial variability of some soil physical properties in tree soils of São Paulo, Brazil. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.27, p.333-41, 1992.

VIEIRA, S. R. *Geoestatística em estudos de variabilidade espacial*. Campinas, 2000. 90p.

VOLTZ, M., WEBSTER, R. A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information. *J. Soil Sci.*, v.41, p.451-72, 1990.

ZIMBACK, C. R. L. *Levantamento semidetalhado dos solos da Bacia do Rio Pardo nos*

Municípios de Pardinho e Botucatu. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 1997. 55p.

ZIMBACK, C. R. L. *Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo*. Botucatu, 2001. 114p. Dissertação (Livre Docência) – Universidade Estadual Paulista.

ZIMBACK, C. R. L., RODRIGUES, R. M. *Determinação das classes de capacidade de uso das terras da fazenda experimental de São Manuel – UNESP*. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 1993. 18p.

9 – APÊNDICE

Apêndice 01 – Planilha do resumo de renda e das despesas para se calcular o orçamento parcelar.

RESUMO DE RENDA E DAS DESPESAS

PROPRIEDADE: _____

ORÇAMENTO N°: _____

cultura	unidade	Área (ha)	Produção (ha)	Produção total (ha)	Valor (R\$) unidade	Valor (R\$) total	Venda (R\$)
	t						
	t						
subtotal	-----						♣

ANIMAIS E PRODUTOS ANIMAIS

	unidade	Área (ha)	Produção (ha)	Produção total (ha)	Valor (R\$) unidade	Valor (R\$) total	Venda (R\$)
CARNE	Arroba	-----					
LEITE	Litros	-----					
OVOS	dúzia	-----					
subtotal	-----	-----					

DESPESAS

ITEM	R\$
Hora/trator	
Homem-dia	
Semente	
Semente	
Semente	
Nitrogênio	
Fósforo	
Potássio	
Defensivos	
Micronutrientes	
Esterco	
Depreciação	Total investimento /vida útil
Juros de investimento	Total investimento * taxa de juros
Tarifa de água	
Impostos sobre a produção 17%	
TOTAL	

Obs: A taxa de juros utilizada foi a da poupança, o que equivale a 0.5% ao mês.

INVESTIMENTO	R\$
Desmatamento e nivelamento	
Sistema de irrigação	
Equipamento	
Cerca	
Energia	
Moradia	
Galpão	
Ferramentas	
TOTAL	

RESUMO FINANCEIRO	R\$
Rendimento	♣
Renda Bruta	♣
Despesas	●
Renda líquida	♣ - ●
Mesada Familiar	*
Saldo para desenvolvimento da terra	(♣ - ●) - *
por ha	