

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**ANÁLISE DA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DE
AMOSTRAS DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM
MODELOS DIGITAIS DE FERTILIDADE: ESTUDO DE
CASO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Olney Machado Meneghelo

Santa Maria, RS, Brasil,

2008

**ANÁLISE DA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DE AMOSTRAS
DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM MODELOS DIGITAIS DE
FERTILIDADE: ESTUDO DE CASO EM AGRICULTURA DE
PRECISÃO.**

por

Olney Machado Meneghello

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Geomática, Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação, da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial
para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

Orientador: Prof. Dr. Enio Giotto

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE DA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL E AMOSTRAS DO SOLO E
SUA RELAÇÃO COM MODELOS DIGITAIS DE FERTILIDADE: ESTUDO
DE CASO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO**

elaborada por
Olney Machado Meneghello

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

Enio Giotto, Dr.
(Presidente/Orientador)

Reges Durigon, Dr. (UFSM)

Elódio Sebem, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 19 de maio de 2008.

Dedico este trabalho a todas aquelas pessoas que de alguma forma contribuíram do para a realização.

AGRADECIMENTOS

A **Universidade Federal de Santa Maria**, pelo compromisso com a qualificação profissional dos técnicos administrativos da instituição.

Ao **Prof. Dr. Enio Giotto**, meu orientador, pelo comprometimento com o trabalho, por usar uma metodologia simples e objetiva na transmissão do conhecimento, pelas indicações de leitura e pela compreensão das dificuldades balizando os caminhos para as soluções dos problemas.

Ao **Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira**, pela amizade e compreensão.

Ao **Prof. MSc. Luiz Fernando Sangoi**, pela amizade, confiança e indicação para o Laboratório de Geomática.

Ao **Prof. Dr. Elódio Sebem**, pela ajuda, dedicação ao longo do trabalho.

Ao **Prof. Dr. Reges Durigon**, por ter se colocado à disposição do Laboratório de Geomática para colaborar com a pesquisa.

Aos colegas do Politécnico **Viera, Elvio, Benjamim, Antonio, Dani, Elaine, Dirma, Darci, Terezinha, Delci, Paulo, Lucia, Berger, Luiz e João** e do CCR **Wanderley, André e Luiz Marchiotti Fernandes**, sempre prestativos e empenhados em ajudar.

Aos colegas do Laboratório de Geomática **Daniel, Danieli, Dina, Diana, Douglas, Jaque, Junior, Francisco, Edgar, Fabio, Pedro e Salete**, pela amizade, ajuda e companheirismo em todos os momentos.

A Direção do Colégio Politécnico **Prof. Canrobert Kumpfer Werlang** e **Prof. Valmir Aita**, pelo comprometimento com o crescimento dos Servidores Técnicos Administrativos do Colégio Politécnico.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

A minha esposa **Sandra** pelo amor, carinho, compreensão e amizade nos momentos de dificuldade neste longo percurso.

Ao meu filho **João Pedro** pela pureza de suas atitudes que muito me inspirou na busca de meus objetivos.

Aos meus Pais **Antoninho** e **Zaira**, que de uma maneira ou de outra sempre estiveram do meu lado me incentivando e me ajudando.

Aos meus amigos e colegas que carregaram não só a certeza da vitória, mas também a expectativa do dever cumprido.

E por último a **DEUS**, pela vida, pela saúde e pela fé que me permitiu chegar até aqui.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISE DA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DE AMOSTRAS DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM MODELOS DIGITAIS DE FERTILIDADE: ESTUDO DE CASO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO.

Autor: Olney Machado Meneghello

Orientador: Prof. Dr. Enio Giotto

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 19 de maio de 2008.

Este trabalho teve como objetivo analisar a reflectância espectral de amostras de solo e estabelecer sua relação com modelos digitais de atributos químicos, na elaboração de modelos digitais do solo (mapas de fertilidade e reflectância espectral das amostras), utilizados em manejo de lavouras onde há aplicabilidade de Agricultura de Precisão. A ferramenta utilizada foi o software Sistema Agropecuário CR – Campeiro 6. Como área experimental utilizou-se uma gleba de 26,24 hectares pertencentes ao Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria. Para coleta dos dados, foi montada uma grade amostral da área com *grid* de (100 metros x 100 metros), totalizando 24 pontos amostrais. Estas amostras foram submetidas ao espectrorradiômetro e logo após encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Santa Maria. No processamento dos dados foram gerados modelos digitais de amostras a partir da reflectância espectral, nas bandas do Azul (450 a 520nm), Verde (520 a 590nm), Vermelho (630 a 690nm), Infravermelho Próximo (760 a 900nm), Infravermelho Médio (1550 a 1750nm e 2080 a 2350nm), Pancromático (450 a 900nm), e análises dos teores da Argila, pH, Fósforo, Potássio, Matéria Orgânica, Cálcio, Magnésio, CTC Ph7, Saturação de Bases, Saturação de Alumínio, Zinco, Cobre, Enxofre e Boro. O software Sistema Agropecuário CR – Campeiro 6, oportunizou verificar a existência da relação entre os modelos digitais de espectrometria e os modelos digitais de análise de solo, fazendo o cruzamento de valores de cada banda espectral, com os valores das análises, onde as correlações aparecem nas bandas do Azul com o Cobre, Fósforo e Zinco, no Verde com o Cobre, no Vermelho com o Zinco, no Infravermelho Próximo com o cobre, no Infravermelho Médio 1550 a 1750 com o Boro e como o Zinco, no Infravermelho Médio 2080 a 2350 com o Boro e no Pancromático com o Magnésio.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, Espectrorradiômetro, Reflectância Espectral.

ABSTRAT

Masters Dissertation
Post-Graduation Program in Geomatic
Federal University of Santa Maria

ANALYSIS Of The SPECTRAL REFLECTANCE OF SAMPLES Of the GROUND, And ITS RELATION WITH DIGITAL MODELS OF FERTILITY. STUDY OF CASE IN PRECISION AGRICULTURE.

Author: Olney Machado Meneghello

Supervisor: Prof. Dr. Enio Giotto

Date and Place of the Defense: Santa Maria, may 19, 2008.

This study aimed to examine the spectral reflectance of samples of soil, and establish its relationship with digital models of chemical attributes, in the development of digital models of the soil (maps of fertility and spectral reflectance of the sample), used in management of crops where there is applicability of Precision Agriculture. The tool used was the software system agricultural CR - Campeiro 6. As experimental area used to be a gleba of 26.24 hectares belonging to the Polytechnic College of the Federal University of Santa Maria. For preparation of the data was assembled a grid sampling of the area with grid of 1 hectare (100 metres x 100 metres), totaling 24 points sample, these samples were submitted to expectrorradiômetro and soon after sent to the laboratory analysis of the Federal University of Solos Santa Maria. In the processing of the data were generated digital models of samples from the spectral reflectance, in the bands of blue 450 to 520nm, 590nm the Green 520, Red 630 to 690nm, 900nm Infrared Near the 760, the 1550 Middle Infrared 1750nm, the 2080 Middle Infrared 2350nm, Pancromático 450 to 900nm, and analysis of fertility of Clay, pH, Phosphorus, Potassium, organic matter, Calcium, Magnesium, CTC Ph7, Saturation, databases, Saturation Aluminum, Zinc, Copper, Sulphur and Boro. The software system agricultural CR - Campeiro 6, oportunizou verify the existence of the relationship between the models of digital spectrum and the digital models for analysis of soil, making the intersection of values of each spectral band, with the values of the analysis, where the correlations appear in the bands of blue with copper, phosphorus and zinc, with copper in Green, with the Red Zinc, the Near Infrared with the copper in the Middle Infrared 1550 to 1750 with boron and zinc as in Infrared Middle 2080 to 2350 with Boro and Pancromático with Magnesium.

Keywords: Precision Agriculture, Espectrorradiômetro, Reflectância Spectral.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- Características das Curvas Espectrais de Solos.....	34
QUADRO 2- Identificação dos Pontos Amostrais.....	52
QUADRO 3- Correlação das Bandas Espectrais das Amostras com Análises de solo.....	95

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Constelação de Satélites GPS.....	26
FIGURA 2- Espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR.....	33
FIGURA 3- Distribuição das Unidades de Mapeamento.	36
FIGURA 4- Ciclo da Agricultura de Precisão.....	40
FIGURA 5- Localização do Município de Santa Maria	41
FIGURA 6- Imagem de Localização da Área de Estudo	43
FIGURA 7- Gráfico da análise estrutural do semivariograma.....	49
FIGURA 8- Malha de Amostragem de Pontos da Área da Lavoura	51
FIGURA 9- Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda do Azul 450 a 520nm	53
FIGURA 10- Modelo Digital da Banda do Azul 450 a 520 nm.....	54
FIGURA 11- Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda do Verde 520 a 590nm.....	55
FIGURA12- Modelo Digital da Banda do Verde 520 a 590 nm	56
FIGURA13- Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda do Vermelho 620 a 690nm	57
FIGURA14- Modelo Digital da Banda do Vermelho 620 a 690 nm.....	58
FIGURA15- Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda do Infravermelho Próximo 760 a 900 nm.....	59
FIGURA16- Modelo Digital da Banda do Infravermelho Próximo 760 a 900 nm.....	60
FIGURA17- Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda do Infravermelho Médio 1550 a 1750nm.....	61

FIGURA18- Modelo Digital da Banda do Infravermelho Médio 1550 a 1750 nm	62
FIGURA19- Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda do Infravermelho Médio 2080 a 2350nm	63
FIGURA 20- Modelo Digital da Banda do Infravermelho Médio 2080 a 2350 nm	64
FIGURA 21- Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda Pancromática 450 a 900nm	65
FIGURA 22- Modelo Digital da Banda do Pancromático 450 a 900 nm	66
FIGURA 23- Modelo Digital da Argila (%)	67
FIGURA 24- Gráfico do semivariograma da argila	68
FIGURA 25- Modelo Digital do pH	69
FIGURA 26- Gráfico do semivariograma do pH	70
FIGURA 27- Modelo Digital do Fósforo mg dm^{-3}	71
FIGURA 28- Gráfico do semivariograma do Fósforo.....	72
FIGURA 29- Modelo Digital do Potássio mg dm^{-3}	73
FIGURA 30- Gráfico do semivariograma do Potássio.....	74
FIGURA 31- Modelo Digital da Matéria Orgânica m/v.....	75
FIGURA 32- Gráfico do semivariograma da Matéria Orgânica.....	76
FIGURA 33- Modelo Digital do Cálcio Cmolc dm^{-3}	77
FIGURA 34- Gráfico do semivariograma do Cálcio.....	78
FIGURA 35- Modelo Digital do Magnésio Cmolc dm^{-3}	79
FIGURA 36- Gráfico do semivariograma do Magnésio	80
FIGURA 37- Modelo Digital do CTC pH 7 Cmolc dm^{-3}	81
FIGURA 38- Gráfico do semivariograma do CTC pH7.....	82
FIGURA 39- Modelo Digital da Saturação de Bases (%).....	83
FIGURA 40- Gráfico do semivariograma da Saturação de Bases.....	84
FIGURA 41- Saturação de Alumínio (%).....	85
FIGURA 42- Gráfico do semivariograma do Alumínio.....	86
FIGURA 43- Modelo Digital do Zinco mg dm^{-3}	87
FIGURA 44- Gráfico do semivariograma do Zinco	88
FIGURA 45- Modelo Digital do Cobre mg dm^{-3}	89
FIGURA 46- Gráfico do semivariograma do Cobre.....	90

FIGURA 47- Modelo Digital do Enxofre mg dm^{-3}	91
FIGURA 48- Gráfico do semivariograma do Enxofre	92
FIGURA 49- Modelo Digital do Boro mg dm^{-3}	93
FIGURA 50- Gráfico do semivariograma do Boro.....	94

LISTA DE ABREVIATURAS

SIG - Sistema de Informações Geográficas

AP- Agricultura de Precisão

FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

SIBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

ROLAS - Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos e Tecido Vegetal

GPS - Sistema de Posicionamento global

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ONU - Organização das Nações Unidas

EUA - Estados Unidos da América

MDT- Modelo Digital do Terreno

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1- Amostra de pontos de correlação de acordo com o Quadro 3.....	112
Anexo 2- Resposta espectral de amostras de solo - 350 a 2500 nm.....	113

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 Meio Ambiente	19
2.2 Planejamento Ambiental e Uso da Terra	21
2.3 Geoprocessamento	23
2.4 Sistema de Informações Geográficas	24
2.5 Sistema de Posicionamento Global	25
2.6 Sensoriamento Remoto	27
2.7 Solos	29
2.8 Análise de Solo	34
2.9 Depressão Central	36
2.10 Agricultura de Precisão	37
3. MATERIAIS E METODOS	41
3.1 Localização Física da Área	41
3.2 Localização da área de estudos	43
3.3 Metodologia	44
3.3.1 Levantamento da área de estudos	44
3.3.2 Coleta de amostras	44
3.3.3 Análise de Reflectância das amostras	44
3.3.4 Geração de Modelos Digitais de Análise do Solo	45
3.3.4.1 Elementos do Solo	46
3.3.4.2 Reflectância Espectral do Solo	46
3.3.5 Geoestatística	47

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Malha das Amostras de Solo	51
4.2 Curvas de Respostas Espectral e Modelos Digitais de Reflectância	53
4.2.1 Gráfico da Reflectância Espectral da Banda do Azul (450 a 520nm)	53
4.2.2 Banda Espectral do Verde (520 a 590nm)	55
4.2.3 Banda Espectral do Vermelho (620 a 690nm).....	57
4.2.4 Banda Espectral do Infravermelho Próximo (760 a 900nm)	59
4.2.5 Banda Espectral do Infravermelho Médio (1550 a 1750 nm)	61
4.2.6 Banda Espectral do Infravermelho Médio (2080 a 2350 nm)	63
4.2.7 Banda Espectral Pancromática (450 a 900 nm)	65
4.3 Modelos Digitais de Análise de Solo e Gráficos do Semi-Variogramas das variáveis	67
4.3.1 Modelo Digital da Argila (%)	67
4.3.2 Modelo Digital do pH	69
4.3.3 Modelo Digital do Fósforo mg dm^{-3}	71
4.3.4 Modelo Digital do Potássio mg dm^{-3}	73
4.3.5 Modelo Digital da Matéria Orgânica (m/v)	75
4.3.6 Modelo Digital do Cálcio $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	77
4.3.7 Modelo Digital do Magnésio $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	79
4.3.8 Modelo Digital do CTC ph 7.0 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	81
4.3.9 Modelo Digital de Saturação de Bases (%)	83
4.3.10 Modelo Digital de Saturação de Alumínio (%)	85
4.3.11 Modelo Digital do Zinco mg dm^{-3}	87
4.3.12 Modelo Digital do Cobre mg dm^{-3}	89
4.3.13 Modelo Digital do Enxofre mg dm^{-3}	91
4.3.14 Modelo Digital do Boro mg dm^{-3}	93
4.4 Análise de Correlação entre Valores de Reflectância e Valores de Fertilidade	95
5. CONCLUSÃO	98
6. RECOMENDAÇÕES	99
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	101

1. INTRODUÇÃO

Durante o período da chamada Revolução Industrial não havia preocupação com a questão ambiental. Os recursos naturais eram abundantes e a poluição não era foco da atenção da sociedade industrial e intelectual da época. A partir da escassez dos recursos naturais, somado ao crescimento desordenado da população mundial e intensidade dos impactos ambientais, surge o conflito da sustentabilidade do sistema econômico e natural, fazendo do meio ambiente um tema literalmente estratégico e urgente. O homem começa a entender a impossibilidade de transformar as regras da natureza e a importância da reformulação de suas práticas (LAVORATO, 2004)

No Brasil, os agricultores em geral vêm sofrendo com manejos convencionais inadequados e impróprios para a realidade atual, com utilização da terra sem a preocupação com os impactos ambientais ocasionando muitos danos irreversíveis a fauna e flora destas regiões.

Historicamente o estado do Rio Grande do Sul foi colonizado por imigrantes estrangeiros, oriundos de países como Itália e Alemanha. Estes colonizadores em sua grande maioria foram responsáveis pela implantação da agricultura familiar, utilizando-se de pequenas áreas de terras com mão-de-obra da própria família e, geralmente em locais onde não era próprio a atividade pecuária, as praticas manuais na plantação de produtos denominados de subsistência como feijão, milho, batata, mandioca e arroz, eram realizadas em locais denominados de roças de toco.

A partir da década de 60, com o surgimento dos primeiros tratores, a agricultura no Rio Grande do Sul passa gradativamente por uma nova transformação, mudando do boi e do arado, e de um sistema de produção artesanal, para lavouras extensivas com fins comerciais.

A tecnificação no campo impõe-se, na medida em que há um aumento considerável da demanda mundial por alimentos, aliado às condições de solo, clima, topografia do terreno e vegetação, com uma grande extensão de terras aráveis, o que torna o Rio Grande do Sul, um dos estados brasileiros atrativos para produção de grãos.

Nos últimos 44 anos a população mundial praticamente duplicou seu número, passando de 2,7 bilhões de habitantes para 6 bilhões. Segundo as últimas estimativas da ONU, a população do Planeta se estabilizará em torno de 11,6 bilhões de habitantes no começo do século XXII. (BARBIERI, 2004)

A necessidade de produzir alimentos, principalmente através de lavouras de exportação, torna os produtores ainda mais dependentes do capital externo e dos altos custos de produção e comercialização da economia estrangeira que, na maioria das vezes, acabam competindo com produtos subsidiados em outros países.

Baseado principalmente nos altos custos de produção das lavouras e na grande quantidade de poluentes químicos (adubos, herbicidas, inseticidas, fungicidas) lançados nos solos, de forma excessiva, propõe-se uma nova metodologia de tecnificação das lavouras com o uso da Agricultura de Precisão, proporcionando ao usuário um sistema de manejo racional do solo, adequando a aplicação de insumos a taxas variáveis, proporcionando uma maior precisão na lavoura, a menor custo.

Com a implantação de uma nova sistemática na produção agrícola, aliada ao aumento da produtividade, surge como uma ferramenta alternativa à disposição dos produtores rurais tendo a finalidade de minimizar os custos de produção das lavouras. É nesse sentido que o presente trabalho defende a prática de Agricultura de Precisão, a partir do estudo da provável correlação entre a reflectância do solo e os nutrientes apresentados nas análises, na elaboração de modelos digitais de análises de solos e modelos digitais de reflectância espectral.

1.1 Objetivo Geral:

Analisar a reflectância espectral de amostras de solo e estabelecer sua relação com modelos digitais de atributos químicos.

1.2 Objetivos Específicos:

Obter curvas de reflectância de elementos do solo.

Elaborar modelos digitais de reflectância

Elaborar modelos digitais de elementos do solo

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Meio Ambiente

A preservação do meio ambiente passa a ser um dos principais desafios do homem no século XXI, onde a necessidade de exploração dos ambientes naturais torna-se cada vez maior.

O homem, como ser social, interfere no meio ambiente, criando novas situações ao construir e reordenar os espaços físicos de acordo com seus interesses. Todas essas modificações inseridas pelo homem no ambiente natural alteram o equilíbrio de uma natureza que não é estática, mas que apresenta quase sempre um dinamismo harmonioso em evolução estável e contínua. O ser humano tem comprovado ao longo de sua existência, principalmente após o início da Revolução Industrial, que não tem se considerado como parte efetiva do meio ambiente. A sua necessidade de sobreviver tem ultrapassado os limites da normalidade, gerando uma desproporção absurda entre a maneira de viver e de consumir (ROSS, 1994).

Segundo Tricart (1977) os ambientes naturais mostram-se, inicialmente em equilíbrio dinâmico. Ao avaliar a fragilidade dos ambientes naturais, os autores colocam que, em uma concepção ecológica, analisam o meio ambiente sob o prisma da Teoria de Sistemas das Unidades Ecodinâmicas. Os autores apontam que, na natureza, as trocas de energia se processam através de relações de equilíbrio dinâmico, e que esse equilíbrio dinâmico freqüentemente é alterado por intervenções humanas. Esse tipo de análise requer estudos inter-relacionados de relevo, solos, sub-solos, uso e cobertura da terra e clima.

A significância e a valorização a respeito do meio ambiente estão relacionadas com a visão de mundo imperante em cada civilização, apresentando inclusive nuances em seus segmentos sócio-econômicos. Por essa razão, o relacionamento entre o homem e o meio ambiente possui variações de região para região e ao longo da história (CRISTOFOLETTI, 1999).

Os seres humanos vivem em sociedade e, em suas variadas atividades, relaciona-se com o meio ambiente. Cada sociedade tem um modo próprio de deixar

marcas no meio ambiente, as quais são o resultado de suas práticas econômicas, políticas e religiosas. E, dentro de cada sociedade, os diferentes grupos também têm suas particularidades nessa relação com o ambiente (MENEZES; IÓRIO, 1994).

Os grupos humanos devem compreender as características e o funcionamento dos sistemas do meio ambiente e evitar introduzir ações que provoquem rupturas no equilíbrio. Ocasionalmente os impactos ambientais que ultrapassem a estabilidade existente (CRISTOFOLETTI, 1999).

O mesmo autor coloca que o meio ambiente tem sofrido alterações crescentes registradas nas últimas décadas, o que tem causado males à humanidade, a deterioração do ambiente natural, assim como os riscos a ela referentes são, hoje em dia, alguns dos maiores desafios a serem imperativamente superados almejando alcançar melhor qualidade de vida.

O uso inadequado do ambiente pelo homem, portanto, não é um fenômeno novo. O que talvez seja recente é a preocupação crescente, no meio científico e acadêmico e, principalmente, nas comunidades urbanas, com a qualidade de vida (AZEVEDO; DALMOLIN, 2006).

A educação ambiental é uma das formas de conter a deterioração do meio ambiente, e quebrar o "ciclo vicioso entre miséria e degradação ambiental", nesta situação fica muito mais difícil algum tipo de melhora, uma vez que se transmite, de uma geração a outra, a cultura da pobreza, que sacrifica os recursos humanos, ambientes e cria obstáculos para a mobilidade social e a paz mundial (BARBIERI, 2004).

De acordo com Kouakou (1997) a política econômica voltada para a agricultura, onde o Homem é ao mesmo tempo meio e fim, o desenvolvimento não ficou atento à qualidade de vida, à preservação do meio ambiente e à equação desenvolvimento versus meio ambiente, que são problemas de difícil resolução. Os resultados do desempenho econômico aparecem necessariamente matizados pelos estragos causados ao ambiente natural. Anotam-se problemas tipo: pressão excessiva sobre os recursos naturais capazes de trazer rendas complementares; uso de sistemas agrícolas extensivos, pouco eficientes, mas consumidores de florestas; desmatamento e perda das essências nobres; prejuízo da biodiversidade; degradação dos solos, entre outros.

A questão ambiental é percebida como sendo secundário pelos governantes e operadores econômicos do mundo rural, que priorizam a elevação da produtividade, tendo em vista a maximização do lucro.

Segundo Barbieri (2004), tudo o que se produz, 85% é destinado a 32% dos habitantes do planeta. E mesmo representando um quarto da população mundial, os países desenvolvidos são os responsáveis por 80% da poluição total. Só os EUA colocam em circulação 23% de todo o CO₂ (gás carbônico, contribuindo assim, para o efeito estufa e o aquecimento global) e consomem 25% da energia mundial, com uma população que representa apenas 5% do total.

2.2 Planejamento Ambiental e Uso da Terra

A utilização do solo para o cultivo de alimentos começou há aproximadamente nove mil anos atrás quando o homem deixou de ser nômade, fixando-se em áreas apropriadas para a produção de alimentos. Vários povos progrediram e muitos vieram a sucumbir devido ao sucesso ou não na escolha de áreas para a agricultura (AZEVEDO; DALMOLIN, 2006).

A falta de planejamento agrícola e o uso e manejo inadequados do solo, em muitos casos, têm levado ao agravamento dos impactos ambientais da atividade agrícola, provocando desmatamento, erosão do solo e poluição de águas. Essa degradação pode levar à perda de diversidade biológica, acelera as mudanças climáticas e altera os ciclos hidrológicos. Assim, no Brasil, o planejamento do uso da terra associado à adoção de práticas conservacionistas, como o sistema plantio direto, e as técnicas de agricultura de precisão (AP), são essenciais para se produzir alimentos, fibras e energia de modo sustentável (MACHADO, 2004).

As atividades humanas estão interferindo sobre as características do ciclo hidrológico em muitos locais e bacias de drenagem. Os impactos dos procedimentos de uso da terra e de suas mudanças nas atividades antropogênicas que afetam a superfície da terra incluem a urbanização, atividades agrícolas tais como: irrigação, drenagem, saneamento das terras e aplicações de fertilizantes químicos, desmatamentos, silvicultura e atividades pastoris (CHRISTOFOLETTI, 1999).

O nível de conscientização dos povos sobre o estado ambiental do planeta tem aumentado as pressões de diferentes grupos sociais para que sejam adotadas medidas de conservação ou de preservação da natureza. São clientes, empregados, concorrentes, investidores, financiadores das empresas, variados grupos de pressão e o público em geral exigindo uma postura ambientalmente saudável nas relações com a natureza. Muitas dessas exigências resultaram em leis e regulamentações. O próprio ambiente dos negócios tem reagido a esse estado de coisas na forma de gestão estratégica e de resíduos, implantação de auditorias e implementação de sistemas de gestão ambiental (HAMMES, 2002).

A avaliação da terra para fins agrícolas não é uma consideração recente, mas o uso de técnicas e métodos de computação eletrônica trouxe maior contribuição e eficiência. Desde a Antiguidade, os agricultores “primitivos” buscavam classificar suas terras em função das suas propriedades em boas ou más, apropriadas ou não para determinados fins. Presenciou-se em um trabalho de campo que um agricultor analfabeto, tinha uma técnica ancestral, consistindo em lançar contra uma árvore, uma porção de solo, dependendo da cor e umidade, julgava o determinado solo quanto aos cultivos de café, cacau, palmeiras e outros (SILVA, 1997).

Os recursos naturais (renováveis ou não), hoje em dia, estão sofrendo uma utilização desenfreada. Conseqüentes alterações indesejadas do meio ambiente merecem ser estudadas e contidas com eficiência e rapidez. Para superar este surto inadequado de desenvolvimento, elaborar uma metodologia que diagnostica a situação atual em que se encontram os recursos naturais em dado espaço geográfico é um passo necessário a ser instrumentado, embora não necessariamente suficiente para preservar e/ou indicar modos conservacionistas de uso (KOUAKOU, 1997).

O termo planejamento ambiental, de uma maneira generalizada, abrange uma gama de atividade, porém todas se relacionam com a tomada de decisões, envolvendo um conjunto de pesquisas e decisões fundamentadas em um referencial teórico. Christofolletti (1998), frisa que o principal aspecto inerente ao planejamento ambiental é a questão da espacialidade, pois incide na implementação de atividades em um determinado território. Constitui, portanto, num processo de avaliação das

características ambientais, do funcionamento e da dinâmica das organizações espaciais.

2.3 Geoprocessamento

O Geoprocessamento pode ser entendido como a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos geograficamente identificados ou extrair informações desses objetos ou fenômenos, quando eles são observados por um sistema sensor (MOREIRA, 2005).

Também o Geoprocessamento é definido como uma tecnologia, isto é, um conjunto de conceitos, métodos e técnicas erigidas em torno de um instrumental tornado disponível pela engenhosidade humana. A origem da tecnologia pode estar ligada a uma finalidade principal, porém é freqüente que aplicações correlatas se desenvolvam em função de interesses posteriores. É o caso do Geoprocessamento, originalmente (e até hoje) ligado às atividades bélicas, em associação com o Sensoriamento Remoto, para a obtenção de dados ambientais atualizados, visando à execução de análises da distribuição territorial de eventos e entidades de interesse militar (SILVA; ZAIDAN, 2004).

Os primeiros Sistemas de Informação Geográfica surgiram na década de 60, no Canadá, como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais. Estes sistemas, no entanto, eram muito difíceis de usar: não existiam monitores gráficos de alta resolução, os computadores necessários eram excessivamente caros, e a mão de obra tinha que ser altamente especializada e caríssima. Não existiam soluções comerciais prontas para uso e cada interessado precisava desenvolver seus próprios programas, o que demandava muito tempo e, naturalmente, muito dinheiro (MOREIRA, 2005).

O conhecimento do espaço ou do território não é meramente a justaposição de dados, em um dado momento, mas a integração de todos eles dentro de uma mesma unidade de análise. O Geoprocessamento permite individualizar cada espaço através de suas características ou assinaturas, explicar os fenômenos que nele ocorrem, com base em análises mais concretas e rigorosas, minimizando interferências (SILVA, 1997).

Os recursos do Geoprocessamento aparecem como importantes instrumentos que podem proporcionar correlações entre as diferentes análises passíveis de realização por diferentes profissionais, assim como ser o veículo de comunicação entre técnicos, comunidades e instituições (MOURA, 2003).

A atual disponibilidade dos recursos computacionais e de comunicação representa muito mais que a extensão e aceleração da capacidade física de processar dados. Foram atravessados limiares tecnológicos, metodológicos e conceituais que conduzem a novas formas de relacionamento do homem com os dados. Uma nova semiótica estabeleceu-se, exigindo e criando meios de transformação e armazenamento físico dos dados (processadores mais rápidos, memórias centrais e auxiliares de maior capacidade), novas formas de comunicação e armazenamento lógico da informação e novas formas de acesso e exibição de resultados das transformações efetuadas nos dados (SILVA, 2001).

2.4 Sistema de Informações Geográficas

Os sistemas de informações geográficas são softwares gerenciadores de informações como solos, clima, culturas, topografia, geologia. Estas informações podem ser armazenadas, e que, por sua vez, aliado aos objetivos do usuário, irá gerenciar, cruzar informações e obter um novo produto (DEMATTÊ, 2007).

Para se entender o que é um Sistema de Informações Geográficas, podemos separar cada um dos componentes de sua denominação:

SISTEMA - É um arranjo de elementos relacionados ou conectados de tal forma que constituem um todo organizado com características próprias.

INFORMAÇÃO- É o significado que o ser humano atribui a um determinado dado utilizando um processo pré-estabelecido de interpretação.

GEOGRÁFICA - Diz respeito às relações básicas com a Terra, considerada como um corpo em forma de globo.

SIG- O SIG é a ferramenta computacional do Geoprocessamento, disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Tem uma utilidade muito grande no estudo e monitoramento do meio ambiente e no

planejamento de cidades, regiões, países e de diferentes tipos de atividades e serviços (FLORENZANO, 2002).

É qualquer sistema de gerenciamento de informação que pode coletar, armazenar e recuperar informações baseadas em sua localização espacial, como:

- Identificar locais dentro de um ambiente alvo de acordo com determinado critério;
- Explorar relações entre conjunto de dados dentro deste ambiente;
- Analisar dados relacionados espacialmente para auxílio na tomada de decisão sobre este ambiente;
- Facilitar a seleção e a passagem de dados para modelos de simulação capazes de avaliar o impacto de alternativas no ambiente escolhido;
- Mostrar o ambiente gráfico e analítico antes e depois de uma análise qualquer.

Numa visão mais abrangente, pode-se dizer que um SIG é composto de cinco componentes independentes, porém interligados uns aos outros através de funções específicas. Os componentes do SIG são: interface, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem e banco de dados geográficos (MOREIRA, 2005).

Conhecer o território é, desde tempos imemoriais, uma prioridade do homem. A necessidade de explorar e descobrir, movida pela curiosidade natural da espécie e pelos anseios de conquista, acabou provocando uma acelerada evolução das técnicas e dos instrumentos envolvidos no processo de representação do espaço físico (ERBA, 2003).

2.5 Sistema de Posicionamento Global

Os Sistemas de Posicionamento Global surgiram, como o próprio nome diz, para proporcionar posicionamento em qualquer lugar do Planeta Terra. As técnicas de navegação e mensuração baseavam-se nas bússolas e teodolitos. Estes aparelhos forneciam diretamente direções e indiretamente distâncias, com as quais conseguia-se calcular coordenada e áreas (ROCHA, 2003).

Com o Sistema de Posicionamento global surge a necessidade de se obter, em tempo real, a posição exata de alguma entidade (homem, veículo, aeronave, míssil, navio, etc.) No ano de 1973, o Departamento de Defesa (DoD) dos EUA deu início ao

projeto do Sistema de Posicionamento Global. Do ponto de vista de navegação, o GPS surgiu como uma expansão do sistema de navegação NNSS/TRANSIT da Marinha Americana (ROCHA, 2004).

O Global Positioning System são equipamentos de campo que passam sinal para o satélite, sendo retransmitido para uma base em terra, que armazena os dados com a latitude e a longitude do ponto. Permite coletar amostras pontuais de solos e marcar posição de problemas com as culturas, quando instalado em máquinas agrícolas, permite a visualização de sua movimentação, que auxiliado por banco de dados numa estação não móvel, pode saber as características e propriedades dos solos em que está trabalhando (DEMATTÊ, 2007).

O Sistema de Posicionamento Global, composto por uma constelação de 24 satélites operacionais, transmitindo informações para a Terra, orbitando a uma altitude de 20.200 km, é um sistema de rádio-navegação baseado em satélites, desenvolvido e operado pelo departamento de defesa dos EUA. O sistema GPS permite que usuários em terra, mar e ar determinem suas posições tridimensionais (latitude, longitude e altitude), velocidade e hora, 24 horas por dia independentemente de condições atmosféricas em qualquer lugar do mundo (ROCHA, 2004).

A Figura 1 apresenta a Constelação de Satélites com 24 satélites em órbita.

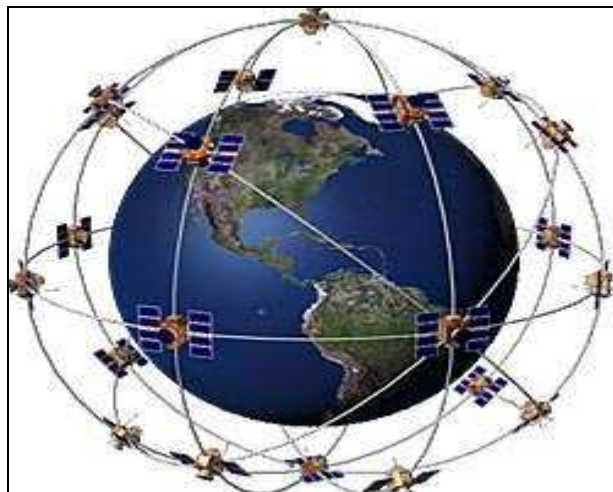


Figura 1: Constelação de Satélites GPS.

Fonte: <http://.geocities.com/CapeCanaveral/Galax/5256/imagem/satélites>

O receptor captando sinais de três ou mais satélites, calculará a posição atual em qualquer lugar da terra através do “software” (programa) armazenado em sua

memória. Os receptores devem “enxergar” um mínimo de três satélites para o contínuo cálculo da sua posição através da triangulação. A precisão atual, no cálculo da posição geográfica, situa-se entre 10 a 15 metros para receptores de navegação (ROCHA, 2004).

Um receptor GPS de navegação tem como objetivo principal a contínua determinação da posição geográfica onde o mesmo se encontra, que esteja em movimento ou parado. Essas posições, também chamadas de pontos (waypoints), irão se constituir em dados necessários para a realização eficiente de uma atividade, notadamente, a ciência ou a arte da navegação (ROCHA, 2003).

2.6 Sensoriamento Remoto

Conforme Florenzano (2002), a origem do sensoriamento remoto vincula-se ao surgimento da fotografia aérea. Assim, a história do sensoriamento remoto pode ser dividida em dois períodos: um, de 1860 a 1960, baseado no uso de fotografias aéreas, e outro, de 1960 aos dias de hoje, caracterizado por uma variedade de tipos de fotografias e imagens. O sensoriamento remoto é fruto de um esforço multidisciplinar que integra os avanços da Matemática, Física, Química, Biologia, das Ciências da Terra e da Computação. A evolução das técnicas de sensoriamento remoto e sua aplicação envolve um número cada vez maior de pessoas de diferentes áreas do conhecimento.

Um dos principais objetivos do sensoriamento remoto é o de distinguir e identificar as composições de diferentes materiais superficiais sejam eles tipos de vegetação, padrões de uso do solo, rochas e outros. Essa distinção e identificação tornam possível devido ao fato dos materiais terem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, comportamentos esses que podem, portanto, ser usados para identificá-los (CROSTA, 1999).

No Brasil um país de proporções continentais, o sensoriamento remoto tem sido utilizado em áreas importantes e prioritárias ligadas ao levantamento de recursos naturais e ao monitoramento do meio ambiente para o benefício do nosso desenvolvimento econômico e social (NOVO, 1998).

No sensoriamento remoto, o estudo da atmosfera terrestre como um todo é fundamental, porque constitui um meio natural que interfere tanto na radiação incidente (irradiância) quanto na parte da radiação que é refletida (radiância) pelos alvos da superfície que, eventualmente, será coletada pelos sistemas sensores (MOREIRA, 2005).

Segundo Novo (1998), o sistema de aquisição de informações de sensoriamento remoto é dividido em dois subsistemas: 1) subsistema de coleta de dados e 2) subsistema de análise de dados.

Para que a coleta de dados funcione é necessário que se preencha algumas condições: a) existência de fonte de radiação; b) propagação de radiação pela atmosfera; c) incidência da radiação sobre a superfície terrestre; d) ocorrência de interações entre a radiação e os objetos da superfície; e) produção de radiação que retorna ao sensor após propagar-se pela atmosfera (NOVO, 1998).

Na interação da radiação solar com a vegetação, seja ela uma floresta, um campo, uma pastagem ou uma cultura agrícola, o que se deve fazer é entender o indivíduo que constitui esta comunidade vegetal, ou seja, a planta, uma vez que é nela que se processam todas as atividades físico-químicas e biológicas, além de ser a menor unidade da vegetação que irá interagir com a radiação solar (MOREIRA, 2005).

De acordo com Fonseca (2001), a tecnologia de sensoriamento remoto por satélites está relacionada com as mais diversas disciplinas e tem desenvolvido um importante papel na compreensão do mundo em que vivemos. Através do uso desta tecnologia vidas e propriedades têm sido salvas através da previsão do tempo e fenômenos tais como furacão, erupção de vulcões e vendavais.

Os sistemas sensores podem ser também classificados em função da região do espectro em que operam. Desta maneira podemos encontrar sensores que operam na região óptica do espectro e que se caracterizam pela utilização de componentes ópticos na sua construção tais como espelhos, prismas, lentes (NOVO, 1998).

Os sistemas sensores que operam na região óptica do espectro podem ser classificados em função do tipo de energia que detectam como sensores termais e sensores de energia solar refletida (NOVO, 1998).

De acordo com Novo(1998), outro campo de aplicação do Sensoriamento Remoto é na agricultura com a estimativa de safras agrícolas. Para isto, pelo menos dois tipos de dados podem ser fornecidos pelos produtos de Sensoriamento Remoto: 1) tipo de cultura ; 2) área ocupada pela cultura.

Dentre as aplicações mais ambiciosas do Sensoriamento Remoto no campo da agricultura está a previsão de safras. A NASA (National Aeronautics and space Administration) e o USDA (United States Department of agriculture) desenvolveram um grande projeto denominado LACIE (Large Área Crop Experiment), com objetivo de monitorar a cultura de trigo nas principais áreas produtoras do mundo (NOVO, 1998).

Assunção; Duarte (1983) apud Novo (1998), afirma que no Brasil, um dos principais esforços sistemáticos para a utilização de dados orbitais na previsão de safras foi realizado pelos autores que tiveram como objetivo o estabelecimento de uma metodologia para estimar áreas de solo preparado para plantio. Esta informação seria útil para o fornecimento de uma estimativa de produção no início da safra, a partir da avaliação da intenção do plantio.

2.7 Solos

Os solos são formados sob variadas condições climáticas, diferentes substratos geológicos, tendo influência do relevo e dos organismos, resultando em solos com características muito diferentes entre si (AZEVEDO; DALMOLIN, 2006).

O solo é um recurso natural que apresenta funções importantes à sustentação dos diversos ecossistemas existentes. Todas as espécies do planeta dependem de um equilíbrio ecológico proveniente do funcionamento adequado das inúmeras partes do sistema. Nesse sentido, os solos desempenham papel fundamental na manutenção da vida, devido ao seu potencial de troca de matéria e energia entre os diferentes compartimentos da terra (AZEVEDO, 1999).

O solo como corpo natural, vivo e dinâmico que faz parte da paisagem, e como tal reflete as condições ambientais. Cada solo pode ser identificado pelas características morfológicas e definido pelas propriedades físicas, químicas e

mineralógicas, as quais são resultantes da ação conjunta de variáveis independentes em diferentes graus de intensidade (REINERT, 2007).

Tecnicamente, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS-EMBRAPA, 1999) define solo como “uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta (AZEVEDO; DALMOLIN, 2006).

No Brasil, predominam os solos de reduzida fertilidade, com baixos teores de cátions trocáveis e elevado grau de acidez. Sob essas condições de cultivo, se a correção da fertilidade do solo não for realizada de modo adequado, aumentam-se os riscos de obtenção de baixas produtividades e de diminuição do lucro do agricultor (MACHADO, 2004).

A ciência do solo tem gerado tecnologias que permitem o uso intensivo de solos para a agricultura, apesar das limitações de vários tipos e graus que possam apresentar. Dentre estas limitações os autores citam que a acidez e a baixa fertilidade, que geralmente caminham juntas, estão entre as mais constantes em solos do Brasil, sendo, em grande parte, responsáveis por uma baixa produtividade tanto em solos recém-cultivados quanto naqueles já utilizados há muito tempo (GOEDERT; LOBATO, 1988).

Os solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina são originalmente ácidos, determinados pelos fatores e processos de sua formação. A acidez do solo pode constituir-se fator de limitação da produtividade das culturas, quando o pH baixo (ácido) estiver associado à presença de alumínio e/ou manganês, em níveis capazes de provocar distúrbios fisiológicos nas plantas, na maioria das vezes, associado a quantidades de cálcio, magnésio, molibdênio e fósforo insuficientes para seu desenvolvimento normal (FIORIN, 2007).

A recomendação de calagem nos Estados do RS e SC objetiva, através da utilização de calcário dolomítico ou calcítico, entre outros corretivos da acidez do solo, elevar o pH do solo, com a finalidade de proporcionar as plantas um ambiente de crescimento radicular adequado, diminuindo a atividade de elementos potencialmente tóxicos (alumínio e manganês) e/ou favorecendo a disponibilidade de elementos

essenciais às plantas, presentes no solo ou a ele adicionados (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004).

Os sistemas antrópicos, como agroecossistemas, tendem a apresentarem desequilíbrios devido ao uso inadequado dos recursos naturais. O solo é considerado um componente vital nos sistemas antrópicos, nos quais ocorrem alterações nos processos e ciclos de transformações físicas, biológicas e químicas, implicando em riscos ambientais com impactos negativos para as comunidades rurais e urbanas. Estes impactos são resultados, na maioria das vezes, da falta de informações sobre as propriedades e o potencial de uso dos solos (DALMOLIN; PEDRON, 2004).

O manejo racional do solo pode ser considerado a base de sustentação dos sistemas agrícolas. A adoção de um sistema de culturas, com base no plantio direto associado à rotação de culturas e ao uso de plantas de cobertura do solo, tem demonstrado ser prática eficiente na melhoria da qualidade do solo, na produtividade das culturas e na redução dos custos de produção (FIORIN, 2007).

A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004) coloca que a parte que melhor indica o estado de fertilidade do solo é a folha, pois é o órgão que reflete os distúrbios nutricionais e, por isso, utilizada para o diagnóstico (diagnose foliar).

A correção da acidez do solo com o aumento do pH promove uma maior CTC pelo aumento nas cargas elétricas negativas na superfície das argilas e óxidos, nas quais nutrientes como K, Ca e Mg se encontram adsorvidos, mantendo equilíbrio com a solução do solo. O aumento do pH exerce também um efeito positivo na atividade dos microorganismos do solo, em especial das bactérias (FIORIN, 2007).

A qualidade do solo é definida como sendo a capacidade de funcionamento do solo, dentro do ecossistema e das limitações de uso que permite a sustentabilidade biológica e favorece a manutenção e o crescimento de plantas, de animais e do homem (BARETTA, 2007).

Conforme EMBRAPA (2003) a maior parte da pesquisa tem focado em correlações de propriedades determinadas em laboratório com propriedades mais difíceis de determinar, principalmente por causa da disponibilidade de bancos de dados de levantamentos de solos, e a suposição de que essas propriedades são as mais apropriadas para devido à demanda de informação de apoio à agricultura sustentável e

à melhoria da qualidade da terra, a utilidade do levantamento de solos não se restringe somente a gerar dados de inventários e distribuição geográfica de classes de solos, mas, também, prover a distribuição espacial quantitativa de propriedades dos solos. A expressão Função de Pedotransferência (*Pedotransfer Function* - *PTF*, em inglês) foi criada por Bouma (1989), com o significado de “transformando dados que possuímos em dados que necessitamos”. Funções de Pedotransferência permitem que informações básicas de solo, disponíveis em relatórios de levantamentos de solos ou em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Segundo Demattê (1998), a avaliação da reflectância espectral tem sido útil na caracterização e discriminação de solos para fins de levantamento. Vários estudos têm mostrado que o comportamento espectral dos solos é influenciado, entre outros, pelas suas características físicas, químicas e mineralógicas (Demattê, 1995; Madeira Netto, 1996). Por outro lado, o entendimento das variações espectrais que ocorrem nos solos ainda não é completo, o que vem a ser um fator limitante na aplicação prática da espectrorradiometria. Uma das necessidades do estudo espectral refere-se à detecção dos minerais de argila existentes nos solos, principalmente em relação aos minerais. Existe uma estreita relação entre a água no solo e os minerais de argila e também entre água no solo e reflectância espectral (Bowers e Hanks, 1965).

Conforme Demattê (1998), em trabalho realizado com Latossolo Vermelho textura média (LVA), a Terra Roxa Estruturada Latossólica (TRL), o Cambissolo (C) e o Vertissolo (V), todos localizados na região de Piracicaba, SP. Foram realizadas análises granulométricas, químicas e mineralógicas de amostras do solo. Posteriormente as amostras foram submetidas a reflectância utilizando IRIS (Infra Red Intelligent Spectroradiometer) na faixa espectral de 400 a 2500 nm, na medida em que se aumentou o teor de umidade no mineral de argila caulinita, ocorreu aumento da concavidade (largura e profundidade) da banda de absorção centrada em 1400 nm. Quanto menor o teor de umidade, mais estreita e menos profunda a concavidade.

Ainda o mesmo autor coloca que em 1900 nm o mesmo fato foi observado, porém, em menor intensidade. As bandas em 1400 nm e 1900 nm são divididas às vibrações de moléculas de água adsorvidas nos minerais (Lindberg e Snyder, 1972). Ao serem atingidas pela energia eletromagnética, ocorre vibração dessas moléculas com

conseqüente diminuição da reflectância, promovendo a formação das bandas de absorção. Na banda de 2200 nm, considerada típica da presença de caulinita, apresentou profundidade menos acentuada em amostras com maior teor de umidade. A presença deste mineral é caracterizada por uma feição típica em 2200 nm, apresentando um pequeno degrau na curva espectral.

De acordo com a Embrapa (2003), investigações conduzidas, demonstraram a capacidade da reflectância para prover estimativas de algumas propriedades físicas, químicas e biológicas de solos. O uso da espectroscopia de reflectância infravermelho próximo difuso para prever umidade do solo, carbono orgânico e teor de nitrogênio total. Foi desenvolvido um modelo de regressão linear selecionando três valores de comprimento de onda que predizem melhor os atributos dos solos.

Na Figura 2 podemos visualizar o Espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR em Laboratório.



Figura 2: Espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR

Fonte: Laboratório do Núcleo de Desenvolvimento e Informações de Geotecnologias

Da interação da energia incidente com os diversos fatores do solo, surge a curva espectral referente à energia refletida. Como cada solo apresenta características distintas, em sua maioria, apresentam também curvas espectrais com diferentes formatos (DEMATTÊ, 2007).

O mesmo autor coloca que a curva espectral é o resultado da interação da radiação eletromagnética com os atributos dos solos como: material de origem, matéria orgânica, óxidos de ferro, mineralogia, granulometria, umidade e situação da superfície do solo. A informação espectral pode ser interpretada para fins de avaliação do solo e do uso da terra. Em termos de solo, geralmente quanto maior o teor de matéria orgânica, menor a intensidade de reflectância. O mesmo ocorre com o ferro. Quanto mais argiloso o solo, menor a reflectância. O teor de umidade também influi significativamente. Quanto mais úmido o solo, maior a energia absorvida pela amostra e menor a intensidade de reflectância. Essas, entretanto, são regras gerais, e a sua interpretação definitiva vai depender de todas as características do solo analisado.

Conforme NOVO (1998), o quadro abaixo permite visualizar as principais características das curvas espectrais de solos.

TIPO DE CURVA	REGIÃO DO ESPECTRO	FEIÇÃO ESPECTRAL	CARACTERÍSTICAS DO SOLO
1	0,32 – 1,0 μ m	Baixa reflectância forma côncava	
2	0,32 – 0,60 μ m 0,60 – 0,70 μ m 0,70 – 0,75 μ m 0,32 – 0,75 μ m	gradiente decrescente gradiente acentuado gradiente decrescente forma convexa	solos bem drenados pouca matéria orgânica
3	0,32 – 0,60 μ m 0,60 – 0,74 μ m 0,76 – 0,78 μ m 0,88 – 1,00 μ m	gradiente acentuado gradiente pequeno gradiente decrescente gradiente aumenta c/d	solos com conteúdo de ferro razoavelmente elevado
4	0,32 – 2,3 μ m 0,88 – 1,3 μ m	baixa reflectância redução da reflectância	alto conteúdo de ferro e matéria orgânica
5	0,75 – 1,3 μ m	Gradiente decrescente não há banda de absorção de Água em 1,45 μ m	alto conteúdo de ferro e baixo conteúdo matéria orgânica

QUADRO 1: Características principais das curvas espectrais de solos

Fonte: NOVO, 1998

2.8 Análise de Solo

A análise de solo é o principal meio para a diagnose da necessidade de corretivos e de fertilizantes da maioria das culturas, principalmente as de ciclo anual. Todos os laboratório integrantes da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e

de Tecido Vegetal do RS e de SC (ROLAS) utilizam os mesmos métodos, mantendo-se permanente monitoramento da qualidade das análises.

A uniformização da metodologia analítica é essencial para a correta interpretação dos resultados. Os métodos utilizados nas análises de caracterização da fertilidade do solo com a finalidade de recomendar corretivos e fertilizantes estão sendo aperfeiçoados desde a criação da SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, em 1968.

Conforme a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004), a determinação do teor de argila do solo é feita pelo método do densímetro, após dispersão sendo expressa em percentagem (m/v). Essa determinação é necessária para estabelecer a classe textural e a interpretação do teor de fósforo do solo extraído pelo método Mehlich-1. Na análise usam-se 10 cm³ de solo.

O pH do solo é determinado por potenciômetro na suspensão solo-água, na proporção de 1:1. Na análise usam-se 10 cm³ de solo e 10 ml de água.

O teor de fósforo é a fração extraída por uma solução composta pela mistura de ácido clorídrico (0,05 mol/L) e ácido sulfúrico (0,0125 mol/L), conhecida como solução de Mehlich-1. O teor obtido representa o fósforo na solução.

O teor de potássio é a quantidade composta pelo potássio da solução do solo e o k adsorvido às cargas negativas do solo (k trocável). Utiliza-se também o extrator Mehlich-1. O teor de potássio no extrato é determinado por fotogrametria de chama.

O teor de matéria orgânica é determinado por combustão úmida, utilizando-se dicromato de sódio e ácido sulfúrico. A matéria orgânica é oxidada e o dicromato é reduzido, ocorrendo modificação na cor da solução, que é proporcional ao teor de matéria orgânica do solo. A determinação da intensidade da cor da solução é feita por colorimetria. Com base no teor de matéria orgânica, avalia-se, indiretamente, a disponibilidade de nitrogênio do solo. Os valores são expressos em % (m/v). Na análise usa-se 1,5 cm³ de solo.

O teor de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis são extraídos por cloreto de potássio 1 mol/l. Numa fração do extrato, o alumínio é titulado com hidróxido de sódio, na presença de azul de bromotimol (ou fenolftaleína). Em outra fração o cálcio e o magnésio são determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

A capacidade de troca de cátions (CTC) é calculada pela soma dos cátions de reação básica trocáveis (K^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} e, às vezes Na^+) e dos cátions ácidos (H^+ + Al^{3+}). Para o cálculo da CTC ao pH do solo (na análise), denominada CTC efetiva, é somado Al^{3+} aos cátions de reação básica.

O teor de enxofre é extraído com solução de fosfato de cálcio contendo 500 mg de P/L, determinando-se o teor de sulfato por turbidimetria com cloreto de bário, após a digestão do extrato com ácido perclórico e os valores são expressos em $mg\ dm^{-3}$. Na análise usam-se $10\ cm^3$ de solo.

O teor de boro é extraído com água quente e determinado por colorimetria, com curcumina os valores são expressos em $mg\ dm^{-3}$. Na análise usam-se $5\ cm^3$ de solo.

2.9 Depressão Central

Inclui uma faixa larga Leste-Oeste, na bacia do Jacuí e seus afluentes. Os principais municípios que a compõe são: Porto Alegre, Gravataí, Santa Maria, Guaíba, Taquari, Canoas, Cachoeira do Sul. Segundo FORTES (1956), sua área é de $31.778\ km^2$.

Conforme REINERT (2007), na Figura 3 podemos visualizar as Unidades de Mapeamento dos Solos da Depressão Central.



Figura 3: Distribuição das Unidades de Mapeamento.

Fonte: Principais Solos da Depressão Central do Rio Grande do Sul, (Reinert, 2007)

2.10 Agricultura de Precisão

Embora não seja um conceito novo, a agricultura de precisão, recentemente, vem tomando espaço nos países mais desenvolvidos como uma alternativa de otimização da produção agrícola. A sua implementação e aplicação em escala comercial nos últimos anos têm gerado expectativas, questionamentos e um certo número de respostas já disponíveis na bibliografia especializada (MOLIN, 1997).

Acredita-se que o conceito de agricultura de precisão tenha surgido juntamente com o advento dos experimentos de uniformidade (uniformity trials), instalados em Rothamsted, Grã-Bretanha, em 1925, e com os estudos de acidez do solo na Universidade de Illinois, EUA, em 1929. Entretanto, o desenvolvimento mais marcante da agricultura de precisão no cultivo de grãos tem ocorrido nos últimos anos e coincide com o aparecimento e aplicação de tecnologias variadas, como microcomputadores com maior capacidade de processamento de dados, aparelhos GPS (do Inglês: Global Positioning System), monitoramento da produtividade de grãos, geoestatística e bancos de dados georeferenciados (MACHADO, 2004).

As técnicas de manejo utilizadas por agricultores que adotam o ferramental de agricultura de precisão podem ser classificadas como aquelas que se baseiam no uso de mapas ou de sensores. As técnicas baseadas em mapas implicam que a informação utilizada para as interferências numa área seja obtida anteriormente à interferência ou manejo, utilizando-se ferramentas como a grade de amostragem de solo ou monitores de produtividade. A informação integrada para criar um mapa de taxas de aplicação de um determinado insumo para um talhão. As técnicas baseadas em sensores são aquelas em que esses instrumentos são acoplados a implementos (ex. adubadoras para aplicação a taxas variáveis), medem propriedades ou características do solo em tempo real e as taxas de aplicação de insumos ajustadas conforme necessidade em cada parte do talhão (MACHADO, 2004).

A agricultura de precisão engloba o uso de tecnologias atuais para o manejo de solo, insumos e plantas, tendo como base as variações espaciais e temporais de fatores que afetam a produtividade das culturas. Essa nova filosofia de se fazer agricultura emprega tecnologias ligadas ao sensoriamento remoto, sistemas de

informações geográficas (SIG) e o sistema de posicionamento global (GPS) (EMBRAPA, 2007).

A geração de mapas de produtividade é considerada como uma das tarefas indispensáveis no processo de diagnóstico da agricultura de precisão. A associação desses com mapas de diferentes propriedades do solo tem sido a ferramenta básica para as recomendações em aplicação localizada dos insumos (MOLIN, 1997).

Segundo Dobermann; Ping, (2004 apud AMADO, 2007, p 101), afirma que a agricultura de precisão é uma forma moderna de gerenciamento da atividade agrícola que objetiva aplicar os insumos no local correto (espaço) e no momento adequado (tempo) as quantidades necessárias (quantidade) à produção, para áreas cada vez menores e homogêneas tanto quanto a tecnologia e os custos lhe permitam.

Entre as características da agricultura de precisão, destacam-se o controle eficaz dos fatores de produção e a identificação de subáreas com limitações e a tomada de decisões com base em um conjunto de informações. Neste contexto, a base de dados temporais e a análise econômica sobre a unidade produtiva são fundamentais, pois permitem orientar as intervenções de manejo (AMADO, 2007).

A agricultura de precisão é uma nova tecnologia, porém com uma longa história. Os agricultores, há muito tempo, têm procurado maximizar a produção física e o retorno econômico das culturas, variando a aplicação de insumos de acordo com os tipos de solos e o desempenho das culturas. Assim, os agricultores dos tempos antigos já reconheciam as vantagens da aplicação diferenciada de esterco de acordo com o tipo de solo (COELHO, 2003).

O mesmo autor coloca que no Sul do Brasil, após a colonização européia predominava a agricultura familiar, desenvolvida em pequenas extensões de área, sendo possível ao agricultor observar a variabilidade espacial das propriedades dos solos e seus efeitos no desenvolvimento e na produção das culturas. Neste caso, durante os tratamentos culturais, o agricultor voltava várias vezes ao mesmo ponto da lavoura acompanhando o desenvolvimento da cultura. Posteriormente, com o avanço da mecanização e a expansão da agricultura comercial, perdeu-se a possibilidade de conhecer detalhadamente a lavoura, optando-se pela utilização de médias que, em muitos casos, representavam grandes áreas, com a aplicação uniforme de insumos.

Recentemente, com o desenvolvimento do Sistema de Posicionamento Global (GPS), associado a equipamentos capazes de medir a variabilidade (sensores de rendimento e monitores de colheita) e a aplicação de insumos (fertilizantes, herbicidas, sementes, etc...) a taxas variáveis, há possibilidade de se reverter essa situação, possibilitando, assim, o manejo localizado das culturas.

De acordo com MACHADO (2004), a agricultura de precisão, certamente, não está limitada ao uso de tecnologias e equipamentos de ponta pelos produtores de países desenvolvidos. O maior desafio está justamente na quantificação e integração das variações espaço-temporal da produtividade das culturas, variáveis essas associadas ao solo e à planta, e condicionadas pelos mais de 54 fatores determinantes do crescimento e desenvolvimento das culturas.

Conforme Valencia (2004), agricultura de precisão tem como principal elemento na sua abordagem a análise de informação de atributos do solo e planta. Um enfoque da AP no manejo da fertilidade do solo e nutrição de plantas é fundamentado na amostragem do solo e planta e na análise de laboratório.

O uso de técnicas de AP com a finalidade de se mapear e manejar a variabilidade de atributos de fertilidade do solo introduz um fato novo nas lavouras, na medida em que se deixa de considerar determinadas áreas agrícolas como uniformes para dividi-las em pequenos talhões ou zonas de manejo, por possuírem características próprias e serem determinantes quanto ao tipo e quantidade de fertilizante a receber (SARAIVA, 2000).

De acordo com a Figura 4 podemos visualizar o ciclo de agricultura de precisão em acompanhamento por etapas com modelo safra completa.

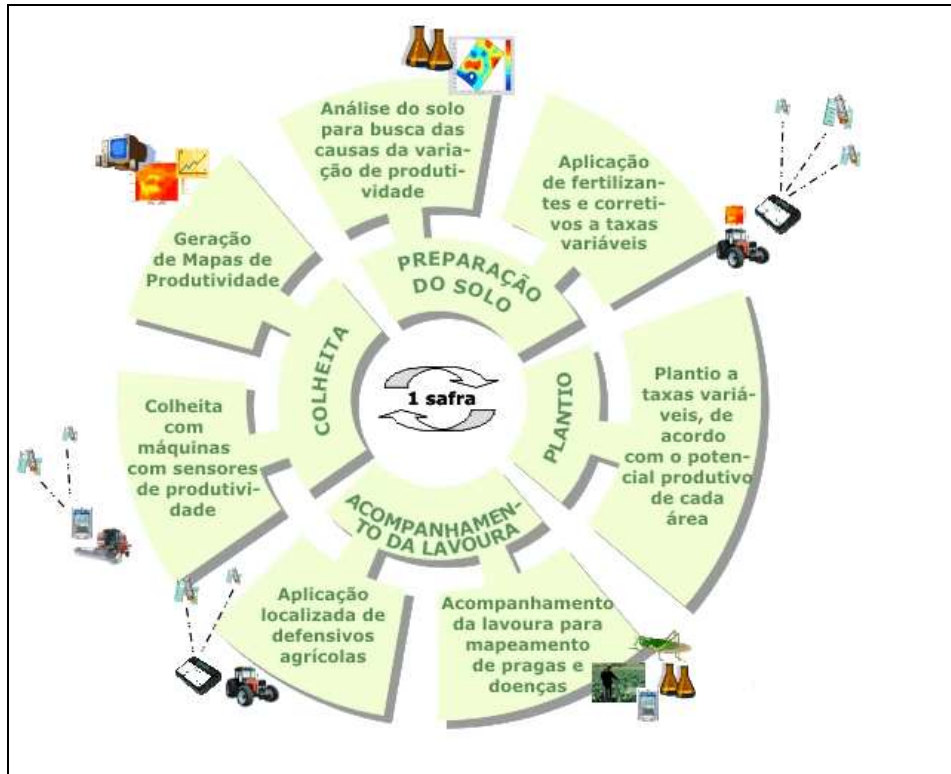


Figura 4: Ciclo da Agricultura de Precisão.
Fonte: [www.arvus.com.br/img/safra completa.jpg](http://www.arvus.com.br/img/safra%20completa.jpg)

3. MATERIAIS E METODOS

3.1 Localização Física da Área

A visualização da Figura 5 de acordo com o IBGE (2007), Santa Maria localiza-se na região fisiográfica da Depressão Central, próxima à zona denominada de rebordo do Planalto, a 29° 43' de latitude sul e 53° 49' de longitude oeste.



Figura 5: Localização do Município de Santa Maria
Fonte: IBGE 2007 <http://www.ibge.gov.br>

O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, com precipitação média anual de 1700 mm e temperatura média anual de 18°C, sendo a média das máximas do mês mais quente 32°C e das mínimas do mês mais frio de 9°C (BURIOL et al., 1979 apud PEDRON et al., 2006).

De acordo com esse autor, os limites do Município, conforme a Lei Municipal n.º 4.120/1997, são: Ao norte: municípios de São Martinho da Serra, Itaara, Júlio de

Castilhos e Silveira Martins; ao leste: municípios de Restinga Seca e Formigueiro; ao sul: Municípios de São Gabriel, Formigueiro e São Sepé; ao oeste: municípios de Dilermando de Aguiar e São Pedro do Sul.

Área geográfica total: 1.774,83 km²

Área urbana: 121 Km² – sede do município

Área rural: 1.653 Km²

Os solos desta unidade de mapeamento são medianamente profundos (1m), com cores Bruno-acinzentadas no horizonte A e bruno-amareladas no horizonte B, apresentando textura média, sendo friáveis e imperfeitamente drenados. O material de origem predominante são siltitos e arenitos. São solos ácidos com saturação por bases baixa no horizonte superficial. Nos horizontes subsuperficiais a CTC e a saturação por bases aumentam. Ocorrem em relevo suave ondulado a ondulado, totalizando 505.000 ha no estado do RS (1,87% da área do estado) (REINERT, 2007).

O mesmo autor coloca que a fertilidade é natural-moderada. São solos ácidos e apresentam saturação por bases baixa nos horizontes superficiais, a erosão- moderada a forte, muito susceptível à erosão, a falta d'água de ligeira a moderada com boa capacidade de retenção de umidade, mas podendo apresentar deficiência devido a ocorrência de períodos secos, a falta de ar é ligeira a moderada, os solos são moderadamente drenados. Quanto ao uso de implementos agrícolas, são moderados, a má drenagem interna do perfil dificulta a mecanização em épocas chuvosas.

3.2 Localização da Área de Estudos

Na Figura 6, podemos observar a localização da área de experimento, situada na Universidade Federal de Santa Maria, com superfície total de 26,24 ha. Nesta área, antes do experimento era campo bruto onde se utilizava para colocar animais em atividade de pecuária extensiva.



Figura 6: Imagem de Localização da Área de Estudo
Fonte: Google Earth 2008

3.3 Metodologia

3.3.1 Levantamento da área de estudos

No levantamento da área de estudo foi medido o perímetro da área da lavoura com aparelho GPS modelo Etrex-Garmin, que determinou a poligonal de contorno (perímetro) da área com 26,24 ha. Posteriormente realizou-se a confecção de uma malha amostral quadrada de 1ha (100m x 100m), totalizando 24 pontos com coordenadas planas E e N.

A conversão, processamento, geração de modelos digitais e gráficos de reflectância espectral e modelos digitais de análise de solo e demais elementos constantes neste, tiveram como base a utilização exclusiva de rotinas de agricultura de precisão do Sistema CR- Campeiro 6 (GIOTTO, 2004).

3.3.2 Coleta de amostras

Após o levantamento planimétrico da área se estruturou uma malha de amostragem do solo de tamanho regular, a cada 1 (um) hectare com identificação dos pontos amostrais pelas coordenadas planas (latitude e longitude), utilizando o GPS.

A coleta das amostras foi realizada com pá-de-corte na profundidade de aproximadamente 0,2 m, sendo uma subamostra no ponto principal e mais quatro subamostras com espaçamento médio de 2 m ao redor de cada ponto principal. Posteriormente as amostras foram misturadas e colocadas em um saco plástico com peso médio de 1,5 kg onde foram devidamente identificadas.

3.3.3 Análise de Reflectância das amostras

As leituras de reflectância foram realizadas a campo no Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, através do uso do espectrorradiômetro FieldSpec®3.

O espectrorradiômetro modelo FieldSpec Pro FR realiza medições de irradiação e radiância solar, sendo um aparelho para uso no campo e em laboratório, com peso aproximado de 8 kg. Apresenta um FOV (campo de visada) de 25° e opera na faixa de

350 a 2.500 nm do espectro eletromagnético, além de possuir uma resolução espectral de 1 nm e capacidade de coletar até 10 espectros por segundo.

Os procedimentos realizados na leitura das amostras do espectrorradiômetro foi conectado a unidade RS3 (esfera integradora) para as leituras espectrais. Foram tomadas 10 leituras amostrais médias a cada segundo: De acordo com os itens 1 e 2.

1. Os dados resultantes deste procedimento constituem um conjunto de arquivos contendo comprimento de onda e reflectância correspondente na amplitude de 350 nm a 2500 nm.
2. Para o processamento e obtenção de dados para análise, os dados foram separados em comprimentos de onda em todas as bandas do espectrorradiômetro.

3.3.4 Geração de Modelos Digitais de Análise do Solo

Os modelos digitais de fertilidade do solo foram estruturados através do Modelo Digital Projeto Agricultura de Precisão-PAP, com parâmetros de grade no espaçamento de 5 m para **X** e 5 m para **Y**, com geração do Modelo Digital do Terreno (MDT) pelo método inverso do quadrado da distância, com interpolação por média da malha, variando somente o raio de pesquisa de acordo com modelo conforme elementos relacionados abaixo:

Argila –150 m

pH- 250 m

Fósforo- 100 m

Potássio- 150 m

Matéria Orgânica- 200 m

Cálcio- 200 m

Magnésio- 200 m

CTC pH7.0- 150 m

Saturação de Bases- 200 m

Saturação de Alumínio- 200 m

Zinco- 250 m

Cobre- 250 m

Enxofre- 250 m

Boro- 200 m

3.3.4.1 Elementos do Solo

Os Modelos Digitais de Fertilidade foram gerados conforme a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (ROLAS,2004), com as variáveis Argila, pH, Fósforo, Potássio, Matéria Orgânica, Cálcio, Magnésio, CTC pH7, Saturação de Bases, Saturação de Alumínio, Zinco, Cobre, Enxofre e Boro. Todas as variáveis tiveram sua organização por padrões de cores de acordo com cada intervalo, nas classes Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto, ajustando-se as cores com cada atributo.

3.3.4.2 Reflectância Espectral do Solo

Para elaboração dos Gráficos de Reflectância Espectral a extensão do arquivo do espectrorradiômetro asc2 é transformada para texto abrindo em Excel. Os gráficos foram gerados a partir das faixas do espectro eletromagnético e divididos em bandas de acordo com satélites IKONOS e CBERS e respectivos sensores, onde no eixo dos **x** representa o comprimento de ondas e no eixo dos **y** o percentual (%) de reflectância dos pontos, de acordo com a divisão das bandas a seguir:

- Banda do Azul correspondente a faixa do espectro eletromagnético de 450 a 520 nm do satélite CBERS 2 sensor CCD;
- Banda do Verde correspondente a faixa do espectro eletromagnético de 520 a 590 nm; do satélite CBERS 2, sensor CCD;
- Banda do Vermelho correspondente a faixa do espectro eletromagnético de 620 a 690 nm; do satélite CBERS 2, sensor CCD;
- Banda do Infravermelho Próximo correspondente a faixa espectral de 760 a 900 nm, do satélite IKONOS, sensor IRMSS;
- Banda do Infravermelho Médio correspondente a faixa espectral de 1550 a 1750 nm, do satélite CBERS 2, sensor IRMSS;
- Banda do Infravermelho Médio correspondente a faixa espectral de 2080 a 2350 nm, do satélite CBERS 2, sensor IRMSS;
- Banda do Pancromático correspondente a faixa espectral de 450 a 900 nm do satélite IKONOS, sensor PANCROMÁTICO.

Para elaboração dos Modelos Digitais de reflectância espectral do solo os valores dos 24 pontos da lavoura foram multiplicados por 100 para melhor visualização dos resultados. Os Modelos Digitais foram divididos em bandas correspondentes aos gráficos e elaborados com variabilidade de 4 classes de cores, variando de acordo com cada intervalo, sendo representadas em hectares num total de 26,24ha da lavoura.

3.3.5 Geoestatística

De acordo com FARIAS *et al.* (2002), no começo da década de 1990 que começaram a ser desenvolvidas tecnologias e princípios para manejar as variabilidades espacial e temporal, associadas aos aspectos da produção agrícola. Sabendo-se que a produtividade das culturas varia espacialmente, o desafio enfrentado pela agricultura de precisão é determinar as causas dessas variações. As variações espaciais podem ser estudadas através de técnicas geoestatísticas que permitem elaborar mapas e delimitar áreas de manejo diferenciadas. A geoestatística, como auxiliar na descrição e representação de variáveis contínuas de atributos dos solos e paisagens, primeiramente 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 (ZIMBACK, 2003).

Numa interpretação bem articulada, Abreu *et al.* (2003) definem a geoestatística como uma coleção de técnicas para a solução de problemas de estimativa envolvendo variáveis espaciais e tem sua base conceitual na interpretação espacial de uma variável regionalizada com realização particular de uma função aleatória. Tornando mais ampla a explicação, os autores esclarecem que a geoestatística também permite a interpretação dos resultados obtidos do estudo com base na estrutura da sua variabilidade natural, considerando a existência de dependência espacial dentro do espaço da amostragem.

Salviano (1996), menciona que o emprego da geoestatística, com o objetivo de identificar e avaliar a estrutura espacial de variáveis introduz uma nova e importante

dimensão para a análise da interação entre atributos do solo e das culturas. As ferramentas da geoestatística permitem a análise da dependência espacial, a partir do ajuste de semivariogramas experimentais a uma função simples, segundo um modelo matemático, e a caracterização da variabilidade espacial, por meio do mapeamento da variabilidade a partir da estimativa, sem tendenciosidade, de dados para locais não amostrados. Com a utilização destas ferramentas pode-se analisar, adequadamente, dados de experimentos, com a possibilidade de obter informações não reveladas pela estatística clássica.

Na visão de Folegatti (1996), para o ajuste de semivariogramas a normalidade dos dados não é necessária, mas desejável. Caso a distribuição não seja normal, mas seja razoavelmente simétrica, pode-se admitir as hipóteses necessárias à construção do semivariograma. Estendendo esta colocação, Vieira & Lombardi Neto (1995), explicam que os cálculos utilizados em geoestatística não requerem o conhecimento da distribuição de frequências da variável analisada.

Numa visão mais técnica, Landim (1998), argumenta que os semivariogramas expressam o comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos e mostram o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, a variação nas diferentes direções do terreno e mostrando também continuidade da característica estudada no terreno.

A construção do semivariograma foi discutida por Isaaks & Srivastava (1989), sendo que, na concepção dos mesmos, quatro parâmetros básicos podem ser estabelecidos. O alcance (*range*) é a distância em que a variância da amostragem se torna aleatória, a partir da qual não há mais dependência espacial. Patamar (*sill*) é a semivariância atingida pelas amostras no platô, e pode ser equivalente à variância das amostras. Efeito pepita (*nugget*) é a porção da variância aleatória e não explicada pela amostragem. O quarto parâmetro é o modelo de equação que foi ajustado aos dados no semivariograma. Esses parâmetros podem ser inseridos em um processo de interpolação por krigagem, para a produção de superfícies contínuas de produtividade.

Zimback (2003) explica que a análise e o ajuste do semivariograma experimental a um teórico denomina-se análise estrutural, que pode ser representado pela Figura 7, estruturada pela autora:

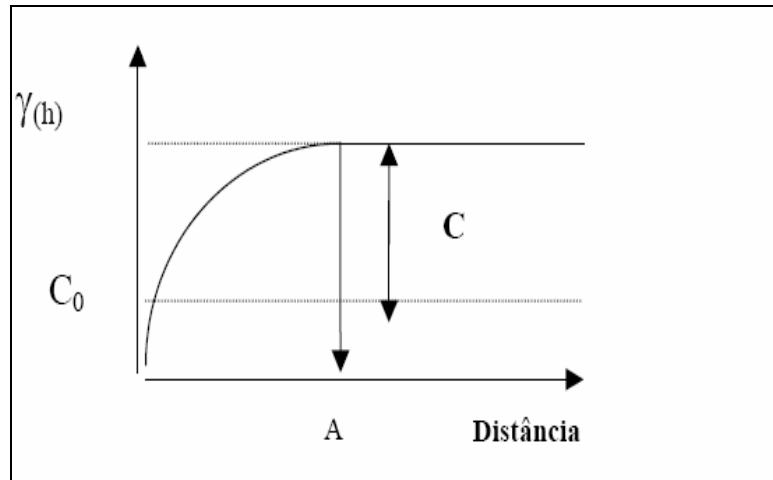


Figura 7: Gráfico da análise estrutural do semivariograma.
Fonte: Zimback (2003)

Desenvolvendo a interpretação da figura, a autora explica que:

- $\gamma_{(h)}$ = Semivariância;
- C_0 = Efeito Pepita;
- C = Semivariância Estrutural ou Espacial;
- $C+C_0$ = Patamar ou Soleira;
- A = Alcance.

Na expressão de Zimback (2003), o efeito pepita (C_0), corresponde à cota do ponto onde o semivariograma corta o eixo das ordenadas (cota zero). Segundo Valente (1989), este ponto reflete as microestruturas não captadas pela menor escala da amostragem, erros de amostragem, de análises laboratoriais, etc.

O alcance (A) corresponde ao conceito da zona de influência ou de dependência espacial de uma amostra, marcando a distância a partir da qual as amostras tornam-se independentes (GUERRA, 1988).

O patamar ($C+C_0$) corresponde ao ponto onde toda semivariância da amostra é de influência aleatória, correspondendo à variância total (s^2), obtida pela estatística clássica (TRAGMAR *et al.*, 1985).

Segundo o mesmo autor, quando o efeito pepita (Co) for aproximadamente igual ao patamar (C+Co), denomina-se efeito pepita puro, demonstrando que a amostra não recebe influência espacial.

Vieira (2000), salienta a extrema importância de que o modelo estatístico adotado na análise dos dados seja validado usando os dados experimentais, para garantir assim, que as ferramentas estatísticas adequadas e corretas sejam utilizadas. O autor ressalta também que a geoestatística aplicada à agricultura de precisão tem por objetivo identificar, na aparente desordem entre as amostras, a medida da correlação espacial, realizar estimativas de valores em locais não amostrados a partir de alguns valores conhecidos na população (krigagem) e identificar inter-relações de propriedades no espaço (análise de correlação entre atributos), além de permitir estudar padrões de amostragem adequados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Malha das Amostras de Solo

A Figura 8 mostra a malha de amostragem gerada pelo software CR Campeiro 6, identificando 24 (vinte e quatro) pontos de coleta de amostras do solo, com coordenadas E e N para geração do projeto de agricultura de precisão

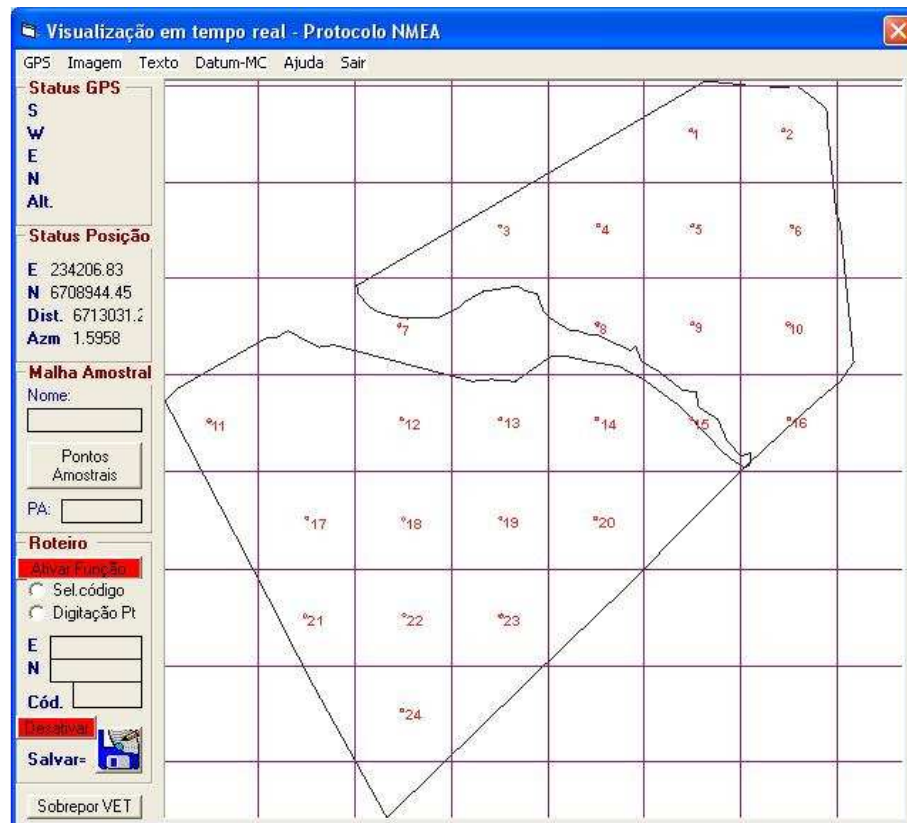


Figura 8: Malha de Amostragem de Pontos da Área da Lavoura

O Quadro 2 mostra a identificação dos pontos amostrais da lavoura com suas respectivas coordenadas E, N .

Pontos	Identificação das amostras	Coordenadas	
		E	N
1	2007	234042	6709156
2	2008	234142	6709156
3	3005	233842	6709056
4	3006	233942	6709056
5	3007	234042	6709056
6	3008	234142	6709056
7	4004	233742	6708956
8	4006	233942	6708956
9	4007	234042	6708956
10	4008	234142	6708956
11	5002	233542	6708856
12	5004	233742	6708856
13	5005	233842	6708856
14	5006	233942	6708856
15	5007	234042	6708856
16	5008	234142	6708856
17	6003	233642	6708756
18	6004	233742	6708756
19	6005	233842	6708756
20	6006	233942	6708756
21	7003	233842	6708656
22	7004	233742	6708656
23	7005	233842	6708656
24	8004	233742	6708556

Quadro 2: Identificação dos pontos amostrais

4.2 Curvas de Respostas Espectrais e Modelos Digitais de Reflectância

4.2.1 Gráfico da Reflectância Espectral da Banda do Azul (450 a 520nm)

A reflectância espectral do modelo digital da banda do azul no comprimento de onda de 450 a 520nm foi espacializada em quatro classes amostrais com intervalo fixo de 0,004%, sendo (0,40% no mapa)

Na Figura 9 verifica-se a reflectância espectral nos 24 pontos da área da lavoura, onde de acordo com as amostras de solos submetidas ao espectrorradiômetro referentes ao satélite CBERS 2 sensor CCD, mostra que o maior índice de reflectância no gráfico corresponde ao ponto de identificação na lavoura M 3006, com valor de 0,0204%, e o menor índice de reflectância corresponde ao ponto de identificação da lavoura M 7005 com valor de 0,0043%. A maior reflectância observada na análise corresponde a 2,04% , e a menor 0,43% conforme mapa do modelo digital Figura 10.

A Figura 9 apresenta as curvas das respostas espectrais da faixa do Azul e a Figura 10 o Modelo Digital em visualização de 4 classes.

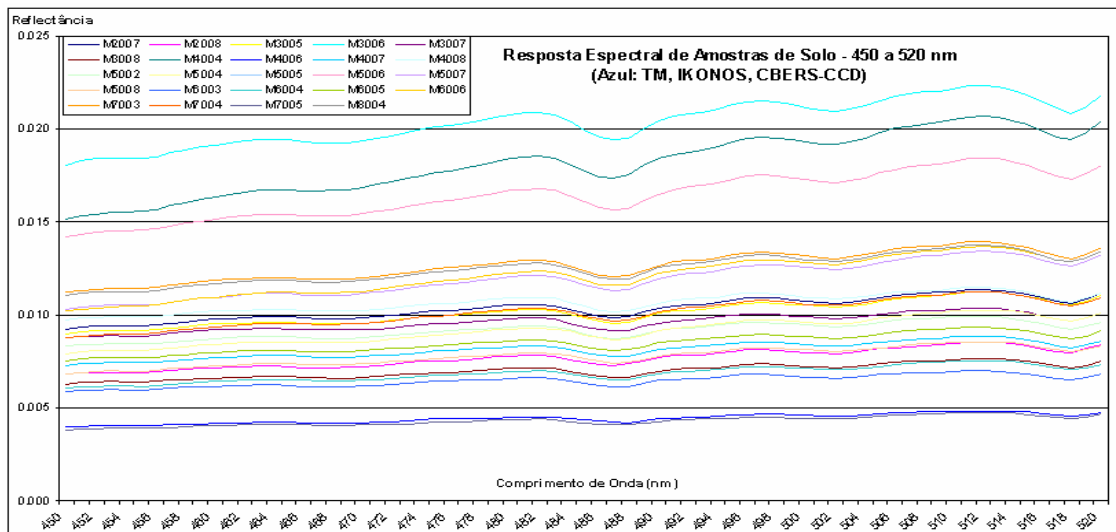


Figura 9: Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda do Azul 450 a 520nm

Conforme podem os visualizar na Figura 10, a área da lavoura que corresponde a maior superfície de energia incidindo, esta no comprimento de onda do 2º intervalo de classe correspondendo a 12,12 ha, ou seja, aproximadamente 47% do total da área de estudo com índices percentuais de reflectância variando entre 0,008% a 0,019% da energia incidente.

A maior faixa de reflectância espectral aparece no 4º intervalo de classe com valor 0,0160% e superior, correspondendo a apenas 1,44 ha da superfície representando aproximadamente 5,5% da área da lavoura.

A menor faixa de reflectância espectral está no 1º intervalo de classe com valores entre 0,004% a 0,0079%, representando 7,60 ha.

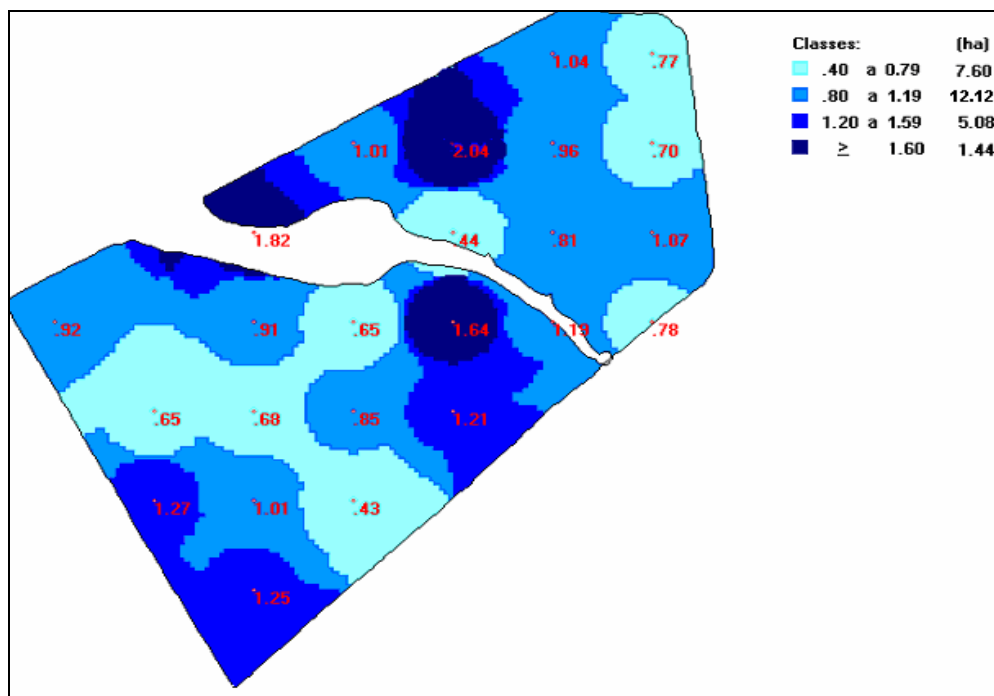


Figura 10: Modelo Digital da Banda do Azul 450 a 520 nm (valores multiplicados por 100)

4.2.2 Banda Espectral do Verde (520 a 590nm)

A reflectância espectral de acordo com a Figura 12 foi espacializada em 4 classes com intervalo fixo de 0.005% (0.50 no mapa).

De acordo com o disposto na Figura 11, verifica-se que entre os 24 pontos das amostra submetidas ao espectrorradiômetro, em 3 pontos as amostras de solo apresentam maior índice de reflectância, representado os pontos M 3006, M 4004 e M 5006 , do gráfico com valores 0,0257%, 0,0248% e 0,0219%, e o menor índice de reflectância no ponto M 7005 com valor de 0,0056%. A maior reflectância observada na análise apresenta valor de 2,57% e a menor 0,56% conforme mapa do modelo digital Figura 12.

A Figura 11 apresenta as curvas das respostas espectrais da faixa do Verde e a Figura 12 o Modelo Digital em visualização de 4 classes.

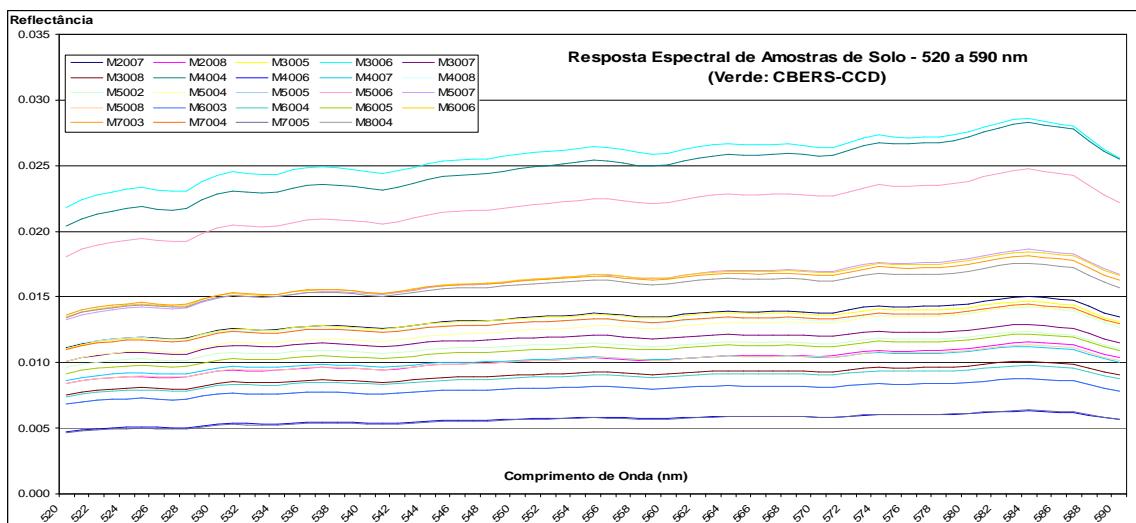


Figura 11: Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda do Verde 520 a 590nm

Conforme pode ser visualizada no modelo digital da figura 12, a área de maior ocorrência de reflectância espectral corresponde ao 2º intervalo de classe com 12,52 ha da lavoura representando aproximadamente 49% do total, com índices percentuais de reflectância entre 0,010% a 0,0149% da energia incidente.

O maior comprimento de onda de reflectância corresponde ao 4º intervalo de classe, com valor igual ou maior a 0,020%, representando apenas 1,59 ha na lavoura, com aproximadamente 6% da superfície da área.

O menor comprimento de onda de reflectância corresponde ao 1º intervalo com valores entre 0,005% e 0,0099%, correspondendo a 6,18 ha com aproximadamente 24% da superfície da lavoura.

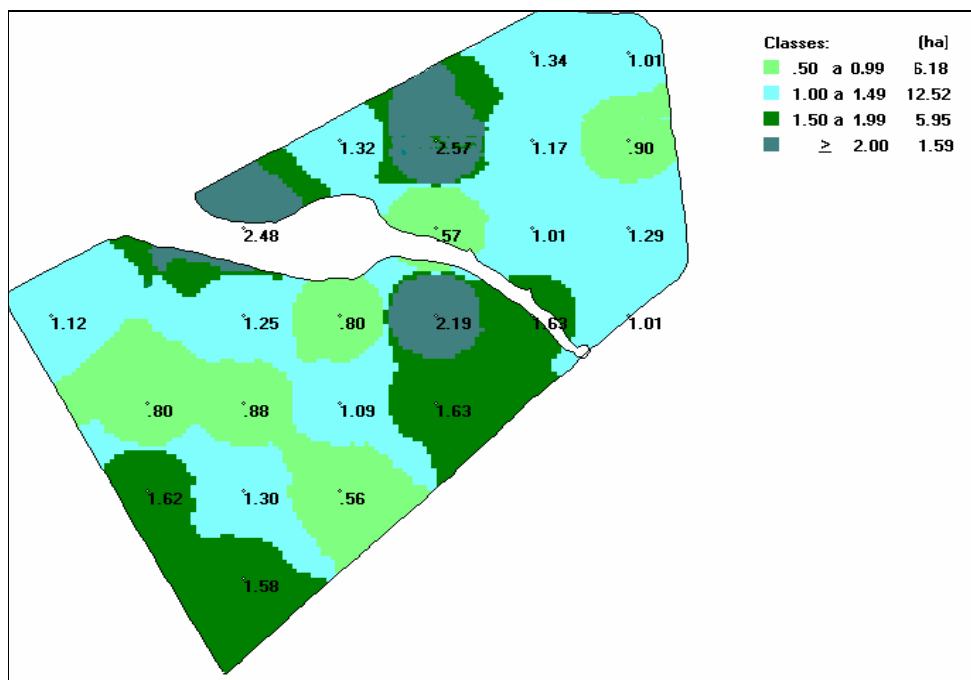


Figura 12: Modelo Digital da Banda do Verde 520 a 590 nm (valores multiplicados por 100)

4.2.3 Banda Espectral do Vermelho (620 a 690nm)

A reflectância espectral da banda do Vermelho no comprimento de onda de 620 a 690nm foi espacializada em 4 classes com intervalo de 0,005%, (0,50 no mapa).

Conforme se observa na Figura 13, os pontos com maior índice de reflectância correspondem a identificação das amostras número M 3006, M 5006, M 5007e M 6006, com valores respectivamente de 0,0325%, 0,0291, 0,0232, 0,0222 no gráfico, e a menor reflectância ocorre no ponto M 4006 com valor de 0,0074%. A maior reflectância observada na análise esta representada pelo valor 3,32% e a menor com valor de 0,74% de acordo com o mapa do modelo digital Figura 14.

A Figura 13 apresenta as curvas das respostas espectrais na faixa do Vermelho e a Figura 14 o Modelo Digital em visualização de 4 classes.

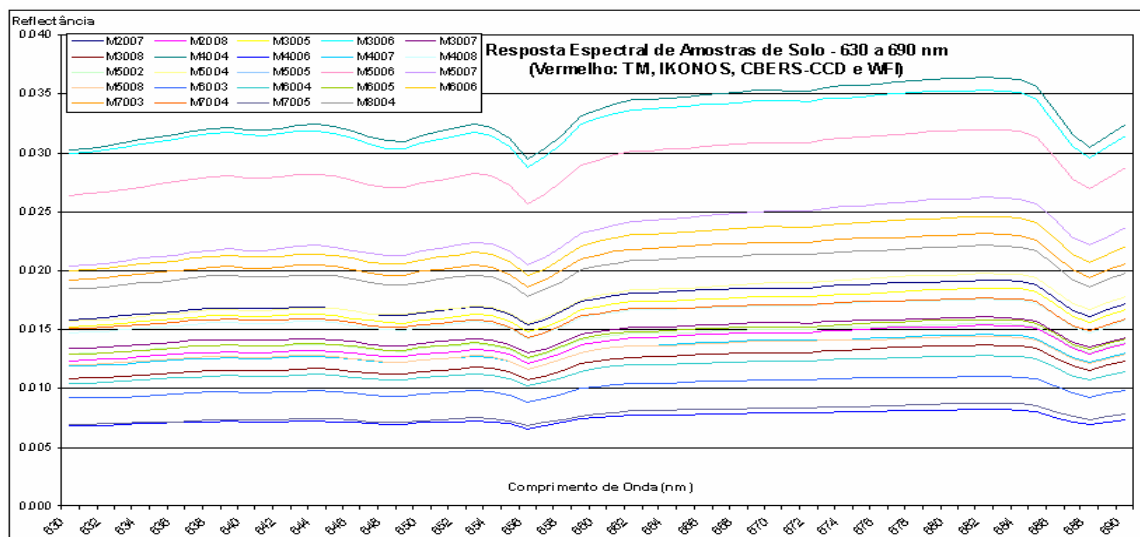


Figura 13: Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda do Vermelho 620 a 690nm

De acordo com a Figura 14 a área onde a ocorrência de maior reflectância corresponde ao 2º intervalo de classe com 12,19 ha da lavoura representando aproximadamente 47% do total com índices percentuais no intervalo de classe de 0,012% a 0,0169% da energia incidente.

A menor ocorrência de reflectância corresponde no 4º intervalo com valor de 0,02% e superior aparecendo em 3,28 ha, representando 12,5% da superfície da lavoura.

O menor comprimento de onda encontra-se no 1º intervalo com índices percentuais de reflectância entre 0,007% a 0,119% representando 4,89 ha da lavoura com percentual de superfície de aproximadamente 19%.

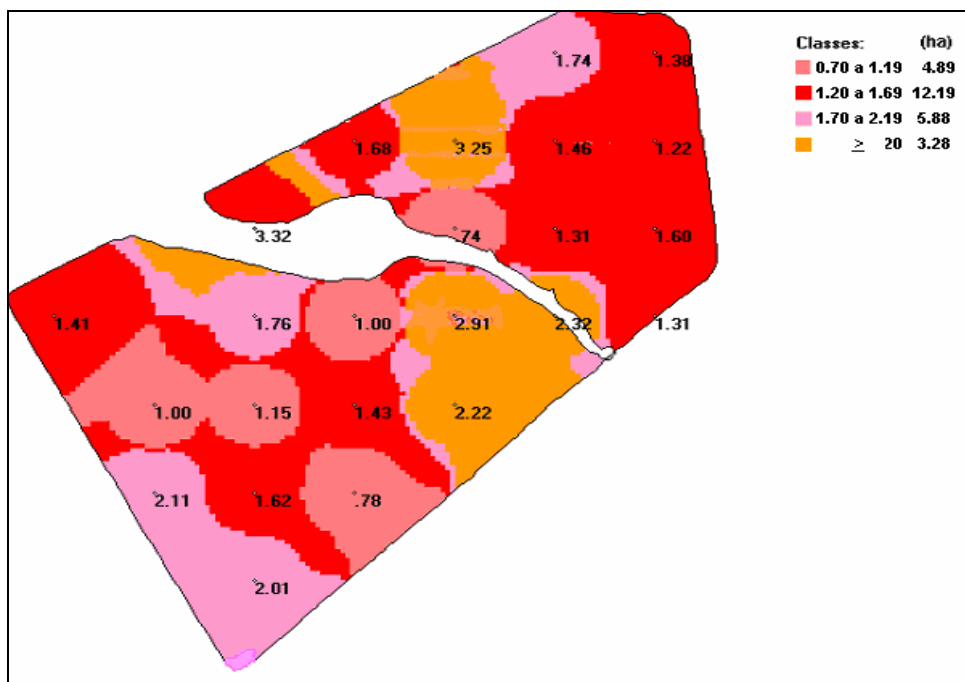


Figura 14: Modelo Digital da Banda do Vermelho 620 a 690 nm (valores multiplicados por 100)

4.2.4 Banda Espectral do Infravermelho Próximo (760 a 900nm)

A reflectância espectral da banda do Infravermelho Próximo no comprimento de onda de 760 a 900 nm foi espacializada em 4 classes com intervalo de classe de 0,005% (0.50 no mapa).

Na Figura 15, podemos observar que a amostra de solo com maior índice de reflectância aparece no ponto M 3006 com valor de 0.0405% e a menor reflectância no ponto M 4006, com valor de 0.0107%. A maior reflectância observada na análise representa o valor de 4,05% e a menor 1,07% de acordo com o mapa do modelo digital Figura 16.

A Figura 15 apresenta as curvas das respostas espectrais da faixa do Infravermelho Próximo e a Figura 16 o Modelo Digital em visualização de 4 classes.

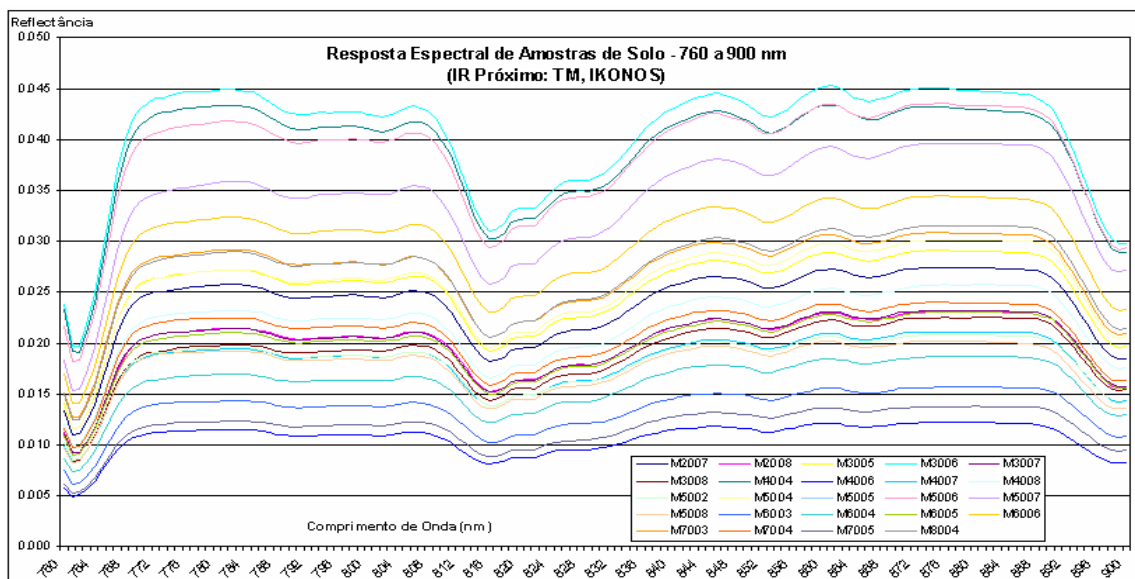


Figura 15: Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda do infravermelho Próximo 760 a 900 nm

De acordo com a Figura 16, pode-se visualizar que a maior ocorrência de reflectância está no 2º intervalo de classe representando 9,06 ha com percentual de aproximadamente 34.5% da superfície no intervalo de classe de 0,015% a 0,0199% da energia incidente na lavoura.

O menor comprimento de onda da energia refletida está no intervalo de classe entre 0,010% a 0,014% representando apenas 2,63 ha de energia ou aproximadamente 10% do total da área.

O maior comprimento de onda refletida aparece no 4º intervalo de classe com valor maior ou igual a 0,025% correspondendo a 6,15 ha da lavoura com percentual aproximado de 23,5% da área.

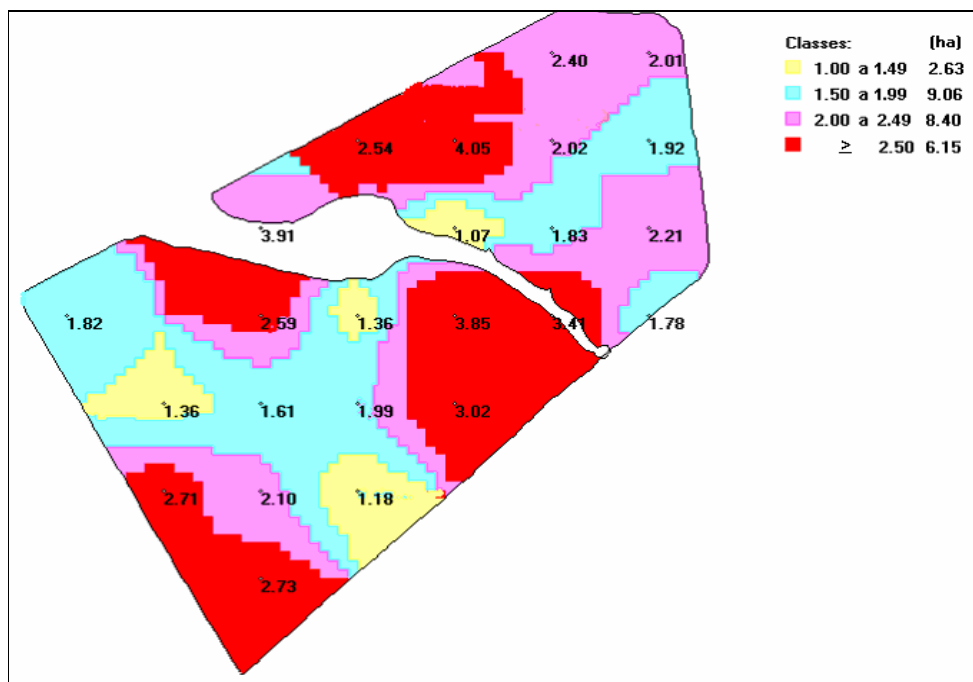


Figura 16: Modelo Digital da Banda do Infravermelho Próximo 760 a 900 nm (valores multiplicados por 100)

4.2.5 Banda Espectral do Infravermelho Médio (1550 a 1750 nm)

A reflectância espectral da banda do infravermelho médio no comprimento de onda de 1550 a 1750 nm foi espacializada em 4 classes com intervalo de classe de 0,004% (0.40 no mapa).

Na Figura 17 podemos observar que a amostra de solo com maior índice de reflectância aparece no ponto M 5007, com valor de 0,0172%, e a menor reflectância no ponto M 4006, com valor de 0,0031. A maior reflectância espectral observada na análise apresenta o valor de 1,72% e a menor 0,31% de acordo com o mapa do modelo digital Figura 17.

A Figura 17 apresenta as curvas das respostas espectrais na faixa do Infravermelho Médio e a Figura 18 o Modelo Digital com visualização de 4 classes.

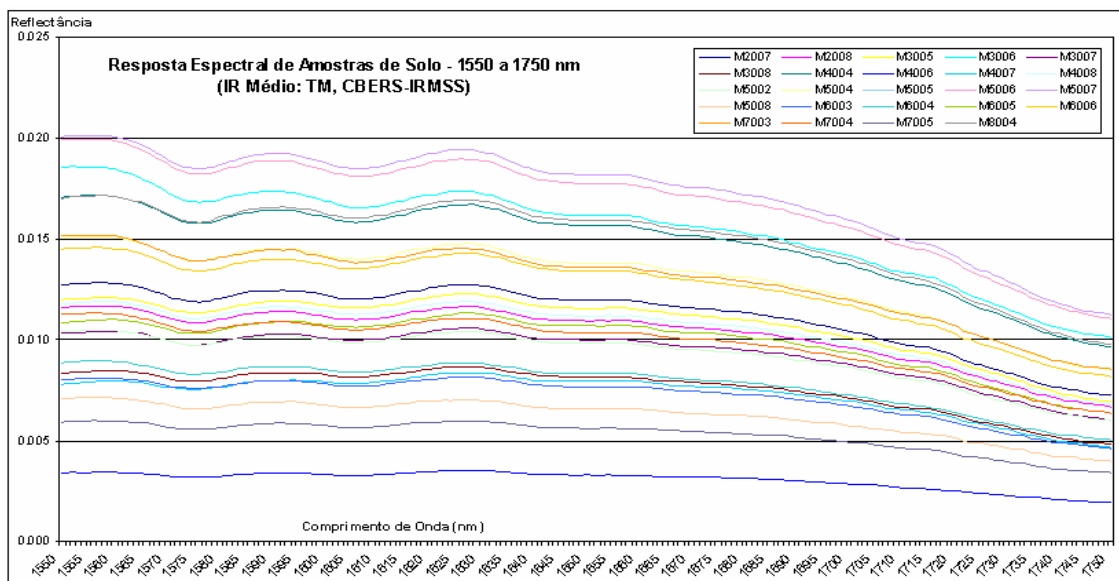


Figura 17: Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda do Infravermelho Médio 1550 a 1750nm

De acordo com a Figura 18 a área de maior de reflectância espectral aparece no 3º intervalo de classe, com índices de reflectância de 0,009% a 0,00119%, representando 10,14 ha da lavoura com aproximadamente 39% de energia incidente.

O maior comprimento de onda de reflectância corresponde ao 4º intervalo de classe, com valor igual ou maior ao 0,012% ocorrendo em 7,41 ha da lavoura.

O menor comprimento de onda de reflectância corresponde ao 1º intervalo de classe com valores de 0,0030% a 0,0059% aparecendo em apenas 1,26 ha, com aproximadamente 4,8% de energia incidente.

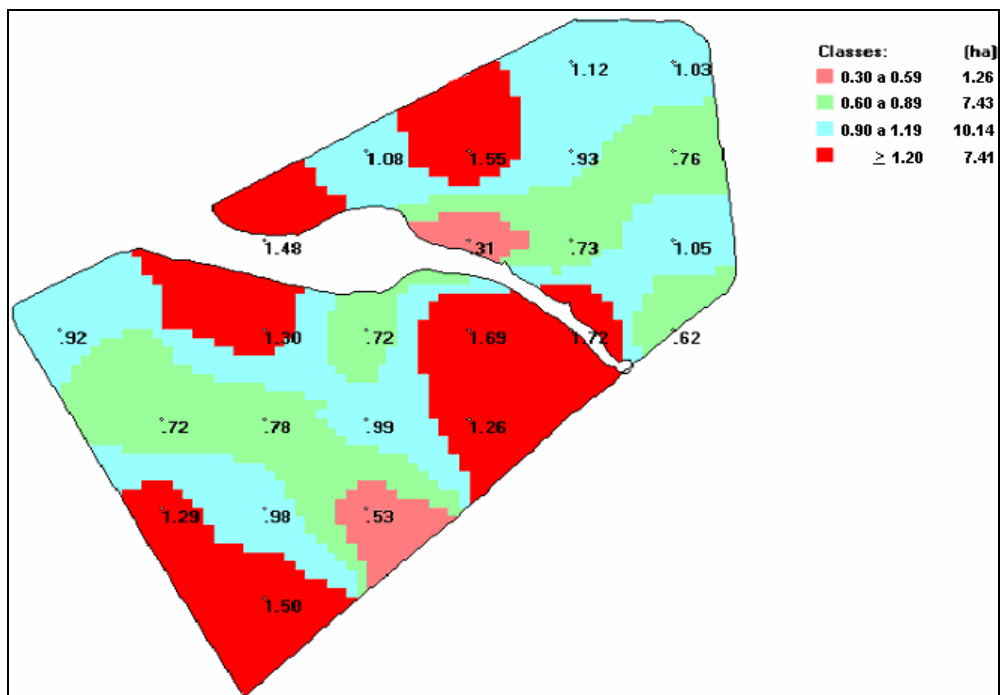


Figura 18: Modelo Digital da Banda do Infravermelho Médio 1550 a 1750 nm (valores multiplicados por 100)

4.2.6 Banda Espectral do Infravermelho Médio (2080 a 2350 nm)

A reflectância espectral da banda do infravermelho médio no comprimento de onda de 2080 a 2350 nm foi espacializada em 4 classes com intervalo de classe de 0.001% (0.10 no mapa).

Na Figura 19 podemos observar que a amostra de solo com maior índice de reflectância aparece no ponto M 3006 com valor de 0,0045% e a menor reflectância no ponto M 4006 com valor de 0,006%. A maior reflectância espectral observada na análise apresenta o valor de 0,45% e a menor 0,06%, de acordo com o mapa do modelo digital Figura 20.

A Figura 19 apresenta as curvas das respostas espectrais na faixa do Infravermelho Médio e a Figura 20 o Modelo Digital em visualização de 4 classes.

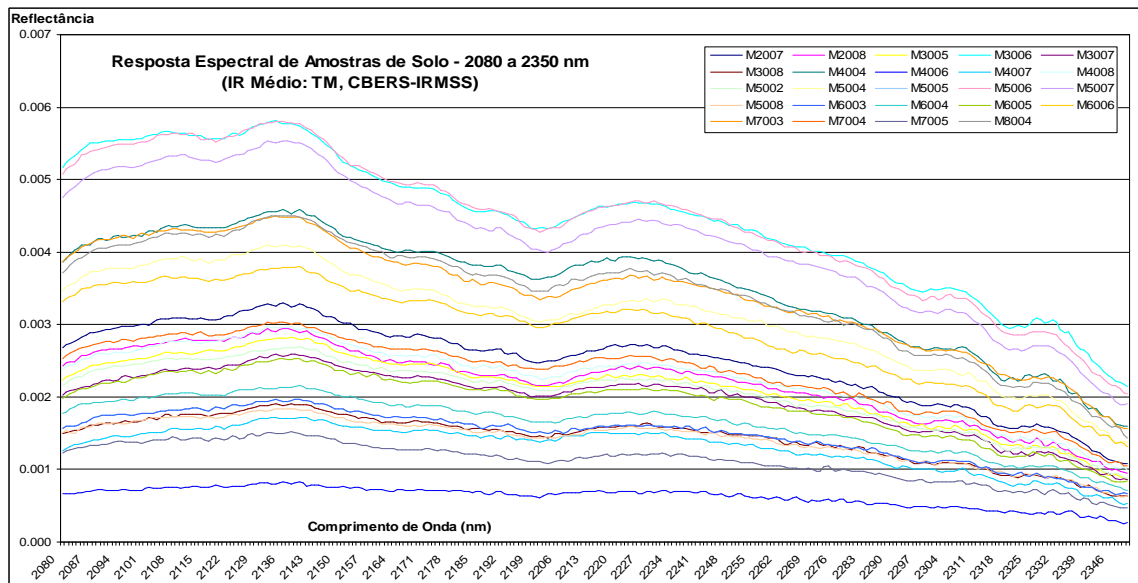


Figura 19: Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda do Infravermelho Médio 2080 a 2350nm

De acordo com a Figura 20 a área de maior de reflectância espectral aparece no 3º intervalo de classe com índices de reflectância de 0,002% a 0,0029%, representando 11,04 ha da lavoura com aproximadamente 42% de energia incidente.

O maior comprimento de onda de reflectância corresponde ao 4º intervalo de classe com valor igual a 0,003% ou superior ocorrendo em 6,34 ha da lavoura, representando aproximadamente 25%.

O menor comprimento de onda de reflectância corresponde ao 1º intervalo de classe com valores de 0,0% a 0,009% aparecendo em apenas 0,23 ha com aproximadamente 0,9% de energia incidente.

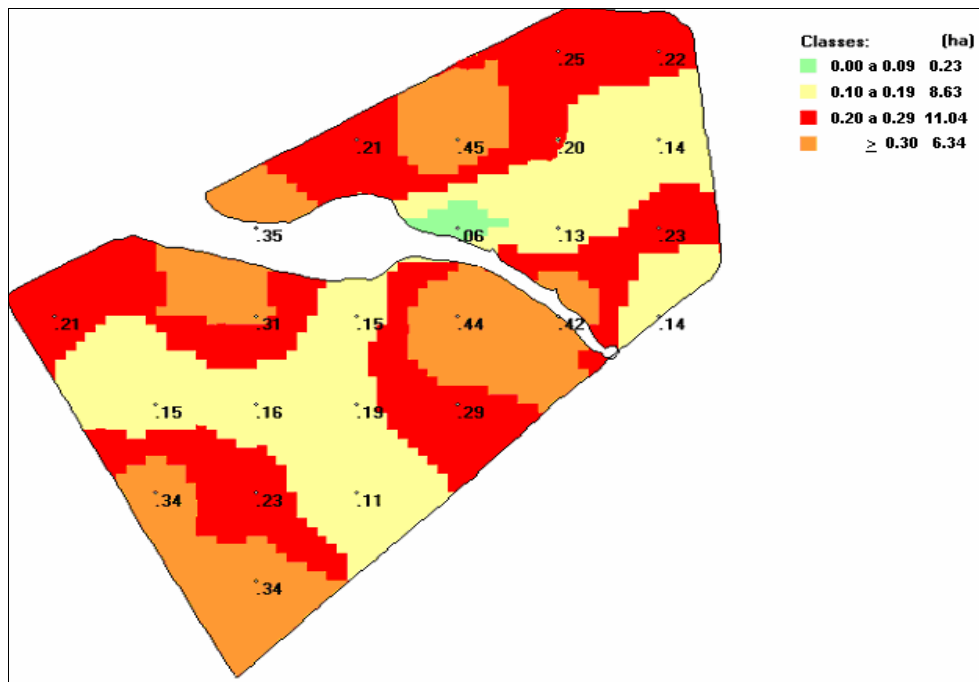


Figura 20: Modelo Digital da Banda do Infravermelho Médio 2080 a 2350 nm (valores multiplicados por 100)

4.2.7 Banda Espectral Pancromática (450 a 900 nm)

A reflectância espectral da banda do Pancromático no comprimento de onda de 450 a 900 nm foi espacializada em 4 classes com intervalo de classe de 0,005% (0.50 no mapa).

Na Figura 21 podemos observar que a amostra de solo com maior índice de reflectância aparece no ponto M 3006, com valor de 0,0323%, e a menor reflectância no ponto M 4006, com valor de 0,0078%. A maior reflectância espectral observada na análise apresenta o valor de 3,23% e a menor 0,78%, de acordo com o mapa do modelo digital da Figura 22.

A Figura 21 apresenta as curvas das respostas espectrais na faixa pancromática e a Figura 22 o Modelo Digital em visualização de 4 classes.

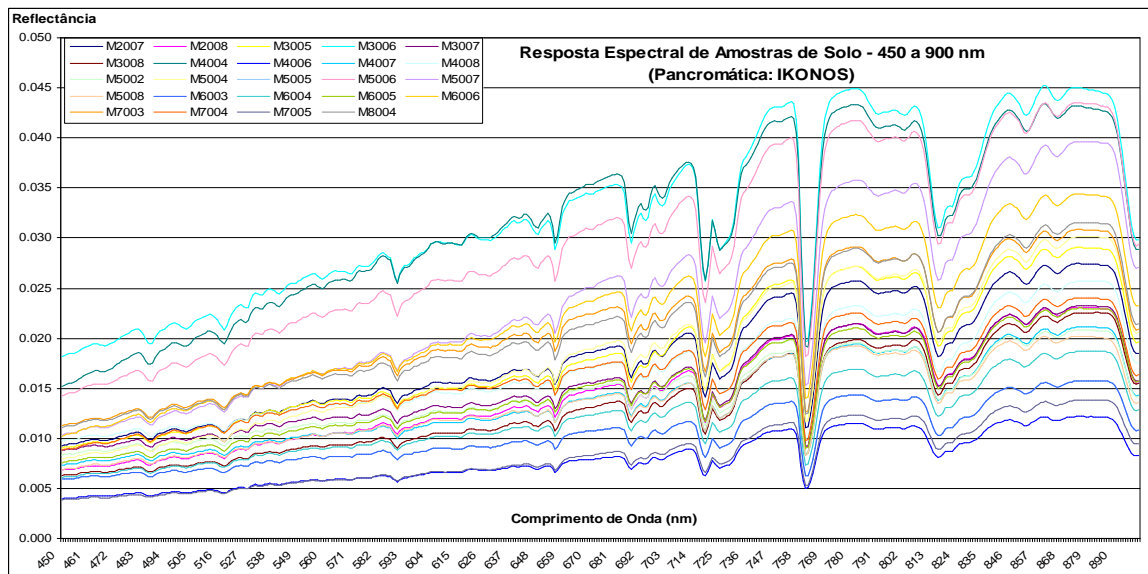


Figura 21: Gráfico da resposta espectral do comprimento de onda na Banda Pancromática 450 a 900nm

De acordo com a figura 22 a área de maior de reflectância espectral aparece no 2º intervalo de classe, com índices de reflectância de 0,001% a 0,0049%, representando 10,49 ha da lavoura com aproximadamente 40% de energia incidente.

O maior comprimento de onda de reflectância corresponde ao 4º intervalo de classe, com valor igual a 0,002% ou superior ocorrendo em 5,97 ha da lavoura, representando aproximadamente 22% de energia incidente.

O menor comprimento de onda de reflectância corresponde ao 1º intervalo de classe com valores de 0,005% a 0,0099%, aparecendo em apenas 1,83 ha, com 7% de energia incidente.

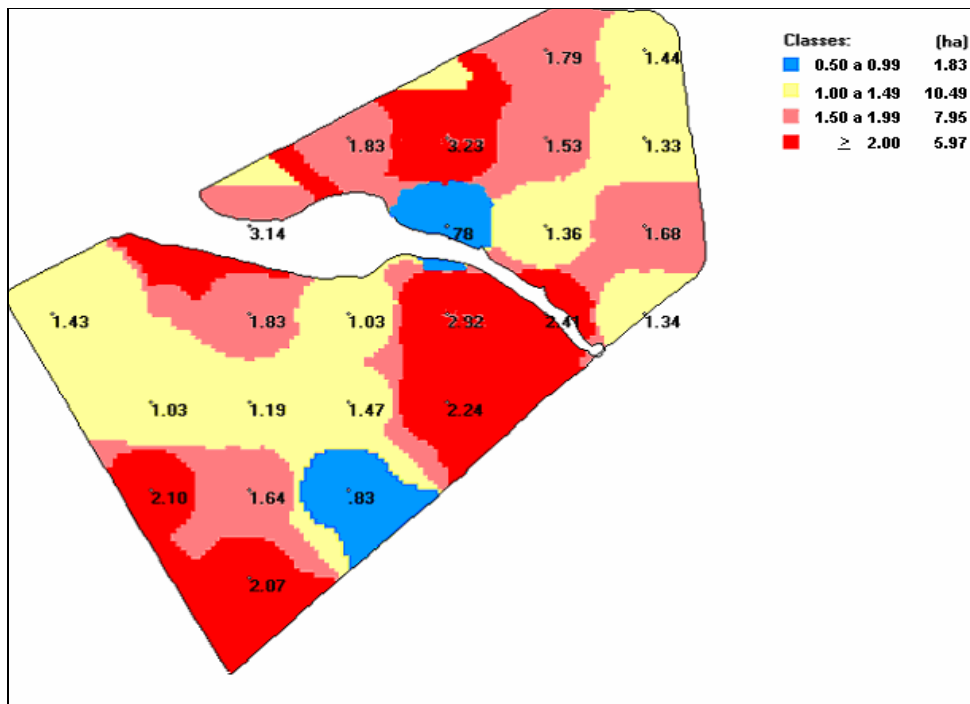


Figura 22: Modelo Digital da Banda do Pancromático 450 a 900 nm (valores multiplicados por 100)

4.3 Modelos Digitais de Análise de Solo e Gráficos do Semi-Variogramas das variáveis

4.3.1 Modelo Digital da Argila (%)

No Modelo Digital da Figura 23 o teor de argila no solo da lavoura esta classificada como baixo em 6.24 ha com valores menores ou iguais a 20% e médio em 20 ha com valores entre 21 e 40%. Isso mostra que aproximadamente 76% da área da lavoura possui níveis médios de teor de argila.

A Figura 23 mostra o Modelo Digital dos teores de Argila e a figura 24 mostra o gráfico do semivariograma.

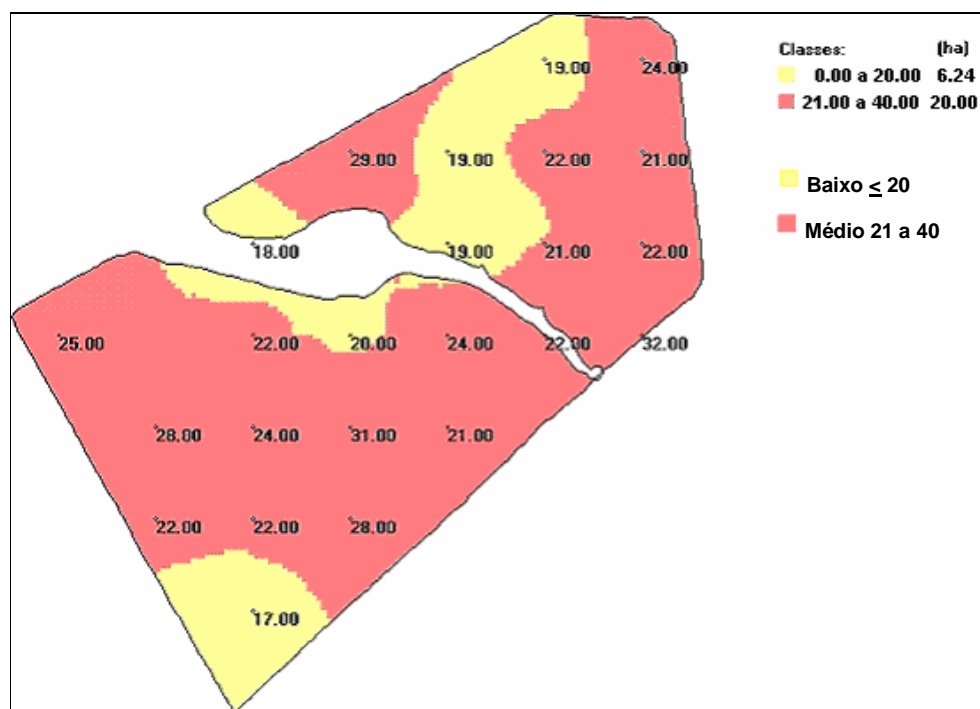


Figura 23: Modelo Digital da Argila (%)

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos: 0;

Média dos Desvios Observados: 0;

Índice Residual Normalizado: 0.0002;

Desvio Padrão: 0.005;

Maior Desvio Observado: 0.01.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 300 metros e que o grau de casualidade foi de 0.45 sendo que o mesmo é maior que 0.30

o que significa que o componente aleatório é altíssimo e significativo, conforme dados do gráfico e semivariograma abaixo descritos:

Dados do gráfico e semivariograma:

Alcance: 300 metros;

Grau de Casualidade: 0.45;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante >0.30.

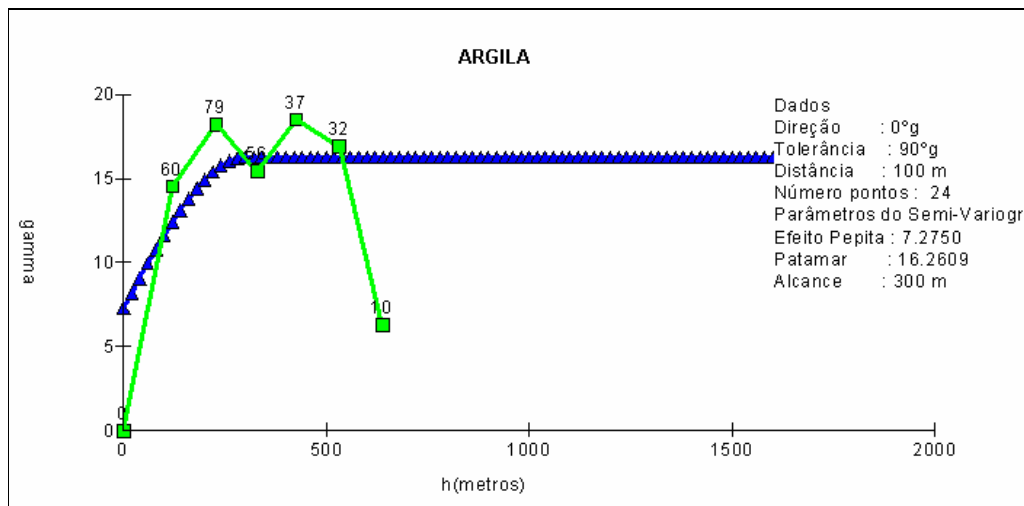


Figura 24: Gráfico do semivariograma da argila

4.3.2 Modelo Digital do pH

A Figura 25 mostra que o pH no solo da lavoura está classificado como Muito baixo em 22,88 ha com valores entre 0 e 5 e Médio em 3,36 ha com intervalos de 5,10 e 5,40, o que representa que aproximadamente 87% da lavoura possui valores de pH Muito Baixo.

A Figura 25 apresenta o Modelo Digital dos valores do pH do solo e a Figura 26 mostra o gráfico do semivariograma.

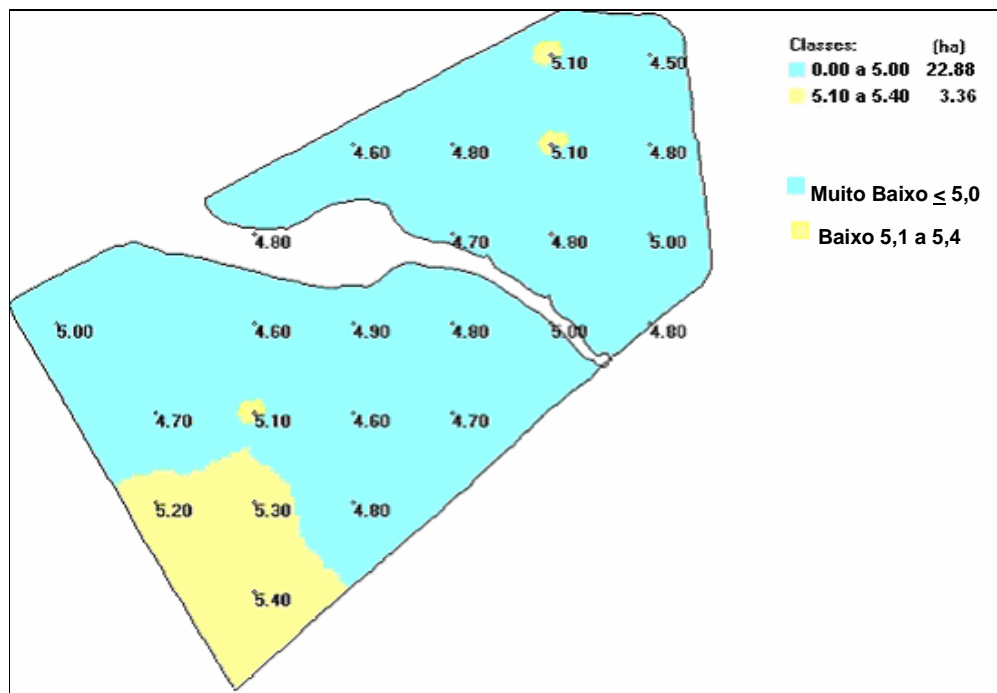


Figura 25: Modelo Digital do pH

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos: 0;

Média dos Desvios Observados: 0;

Índice Residual Normalizado: 0;

Desvio Padrão: 0;

Maior Desvio Observado: 0.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 500 metros e que o grau de casualidade foi de 0.39, sendo que o mesmo é maior que 0.30 o que significa que o componente aleatório é altíssimo e significativo, conforme dados do gráfico e semivariograma abaixo descritos:

Dados do Gráfico e Semivariograma :

Alcance: 500 metros;

Grau de Casualidade: 0.39;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante >30.

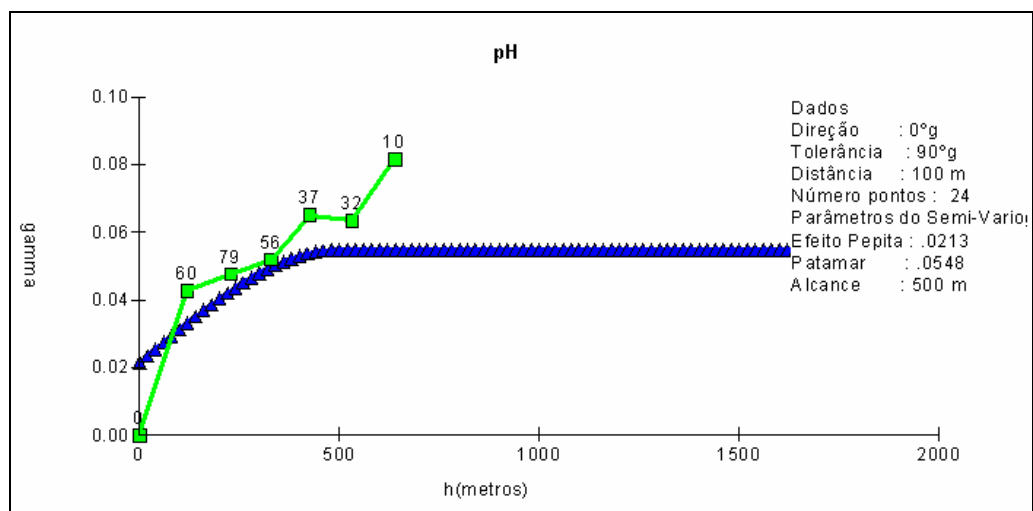


Figura 26: Gráfico do semivariograma do pH

4.3.3 Modelo Digital do Fósforo mg dm^{-3}

Conforme a Figura 27 o teor de fósforo no solo da lavoura está classificado como Muito Baixo em 22.48 ha com valores menores ou iguais a 5.0%, Baixo em 2.97 ha com valores entre 5.1 e 10.1%, Médio em 0.63 ha com valores entre 10.1 e 20.0%, Alto em 0.16 ha com valores entre 20.1 e 40.0%. Estes percentuais revelam que aproximadamente 85% da lavoura possui teor de fósforo Muito Baixo.

A Figura 27 apresenta o Modelo Digital dos Teores de Fósforo no solo.

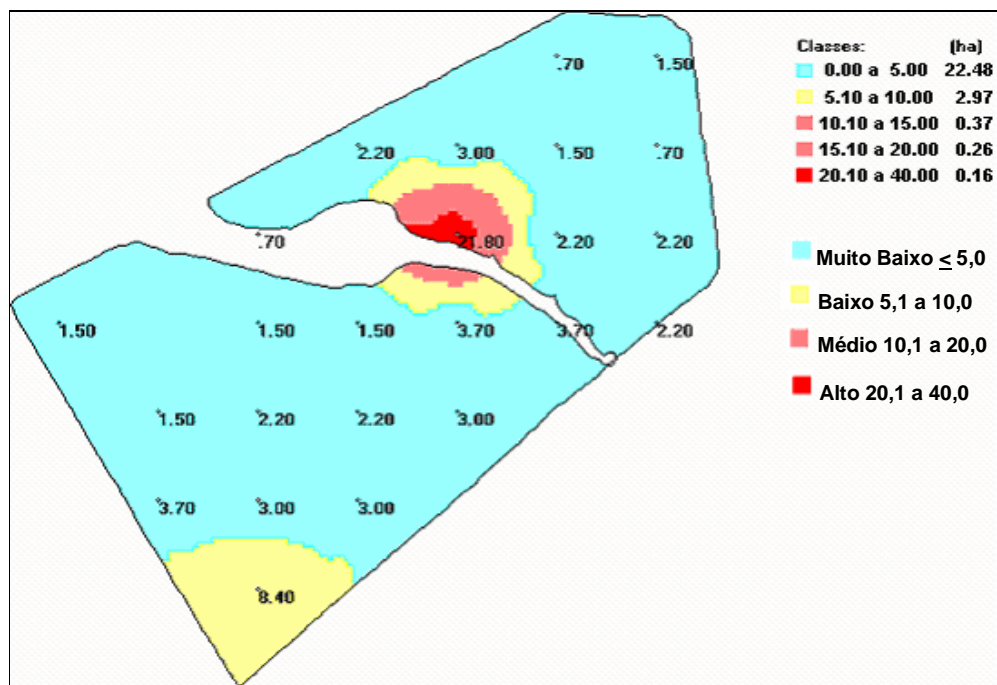


Figura 27: Modelo Digital do Fósforo mg dm^{-3}

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos: 0;

Média dos Desvios Observados: 0;

Índice Residual Normalizado: 0.0005;

Desvio Padrão: 0.003.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 200 metros e que o grau de casualidade foi de 0.63, sendo que o mesmo é maior que 0.30 o que significa que o componente aleatório é altíssimo e significativo, conforme dados do gráfico e semivariograma abaixo descritos:

Dados do Gráfico e Semivariograma :

Alcance: 200 metros;

Grau de Casualidade: 0.63;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante > 30.

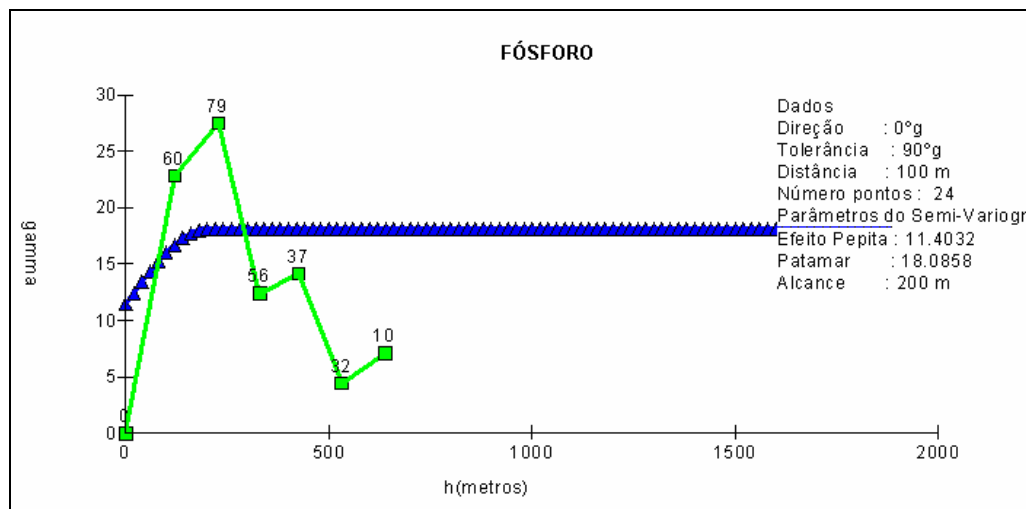


Figura 28: Gráfico do semivariograma do Fósforo

4.3.4 Modelo Digital do Potássio mg dm^{-3}

A Figura 29 mostra que o teor de potássio no solo da lavoura está classificado como Baixo em apenas 0.38 ha com valores entre 21 e 40, Médio em 8.28 ha com valores entre 41 e 60 e Alto em 17.58 ha com valores entre 61 e 120 de acordo com o Modelo Digital podemos verificar que aproximadamente 68% da área da lavoura possui teor de potássio Alto.

A Figura 29 apresenta o Modelo Digital dos Teores de Potássio no solo.

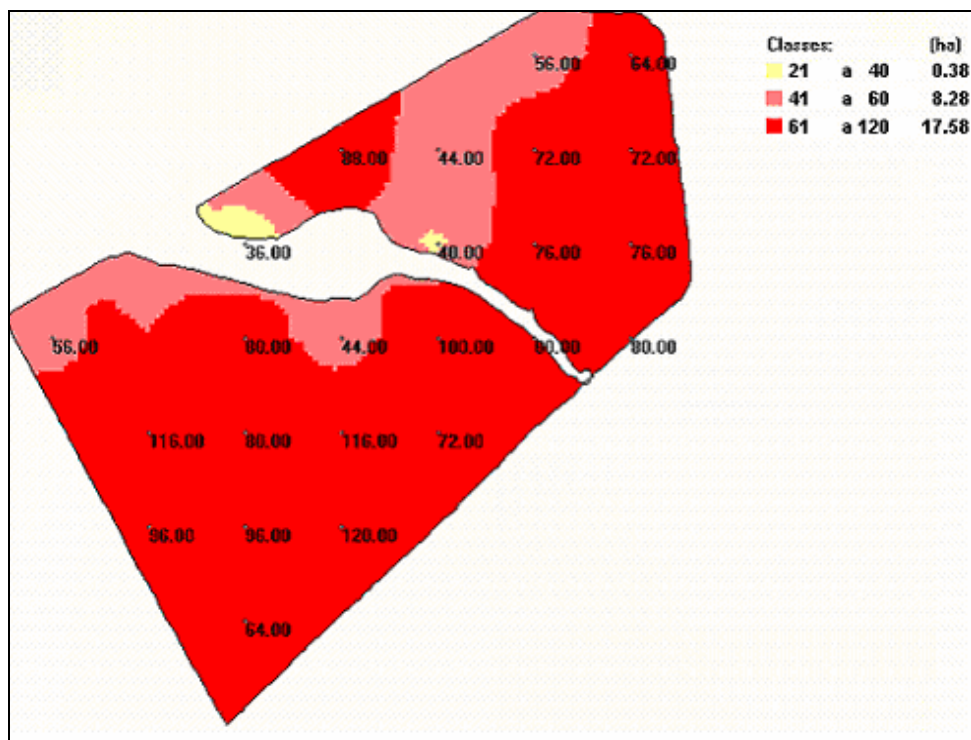


Figura 29: Modelo Digital do Potássio mg dm^{-3}

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos: 0.3;

Média dos Desvios Observados: 0;

Índice Residual Normalizado: 0.0004;

Desvio Padrão: 0.037;

Maior Desvio Observado: 0.08.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 300 metros e que o grau de casualidade foi de 0.41, sendo que o mesmo é maior que 0.30 o que significa que o componente aleatório é altíssimo e significativo.

Dados do Gráfico e Semivariograma:

Alcance: 300 metros;

Grau de Casualidade: 0.41;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante > 0.30.

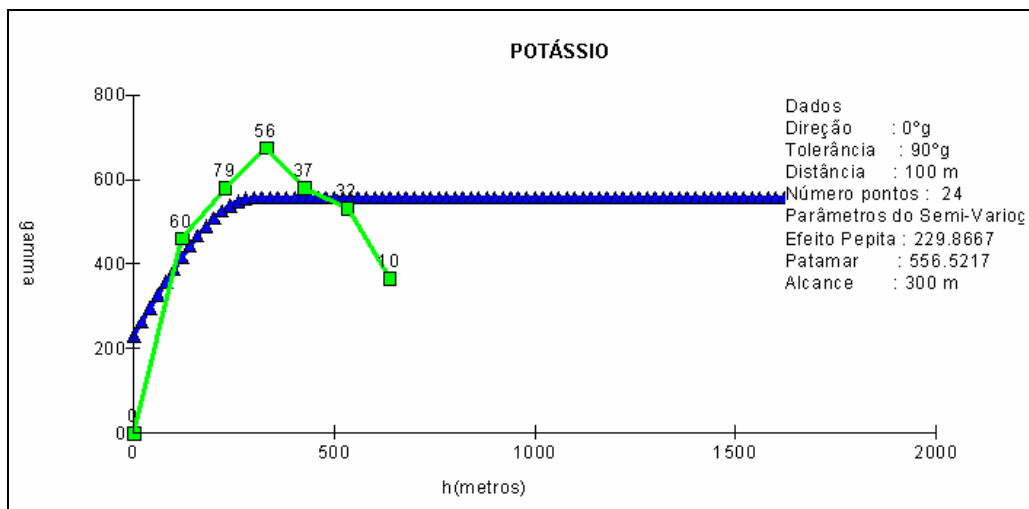


Figura 30: Gráfico do semivariograma do Potássio

4.3.5 Modelo Digital da Matéria Orgânica (m/v)

A Figura 31 mostra que o teor de matéria orgânica no solo da lavoura está classificado como Baixo em 11.47 ha com valores menores ou iguais a 2,5, e Médio em 14.77 ha com valores entre 2,6 e 5,0, o que significa que aproximadamente 57% da área da lavoura possui valores Médios de matéria orgânica.

A Figura 31 apresenta o Modelo Digital dos Teores de Matéria Orgânica do solo.

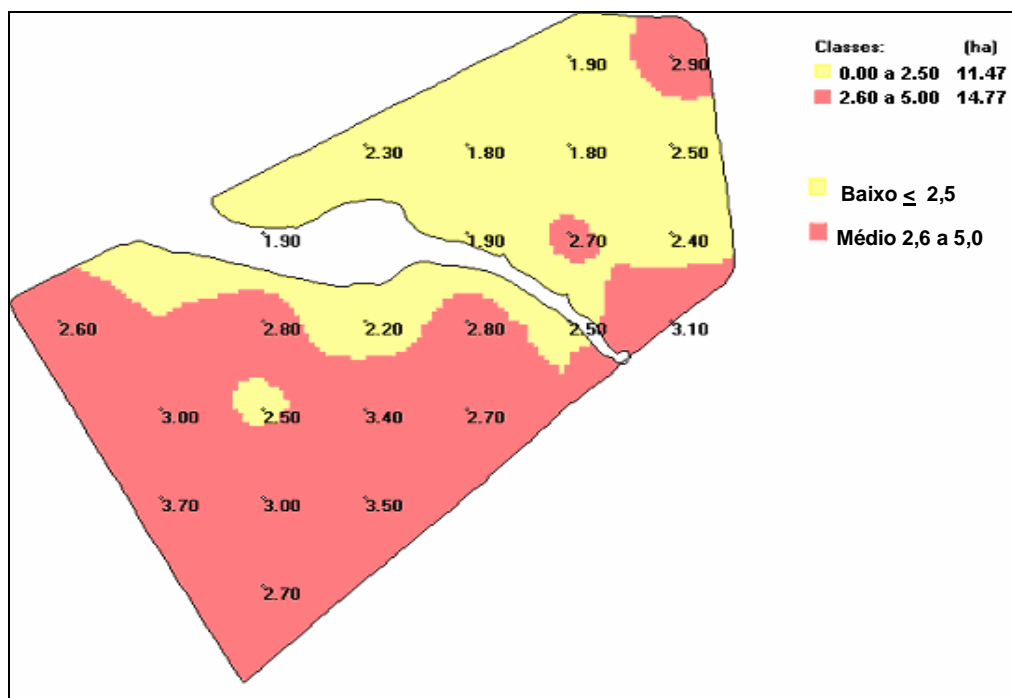


Figura 31: Modelo Digital da Matéria Orgânica (m/v)

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos: 0;

Média dos Desvios Observados: 0;

Índice Residual Normalizado: 0.0001;

Desvio Padrão: 0;

Maior Desvio Padrão: 0.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 400 metros e que o grau de casualidade foi de 0.32, sendo que o mesmo é maior que 0.30 o que significa que o componente aleatório é altíssimo e significativo.

Dados do Gráfico e Semivariograma:

Alcance: 400 metros;

Grau de Casualidade: 0.32;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante > 0.30.

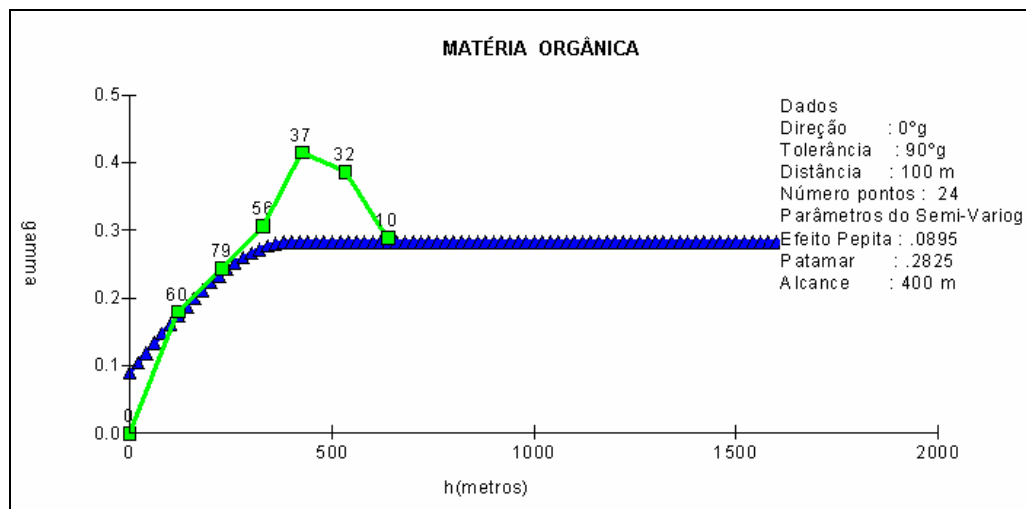


Figura 32: Gráfico do semivariograma da Matéria Orgânica

4.3.6 Modelo Digital do Cálcio $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$

Na Figura 33 o teor de cálcio no solo da lavoura está classificado como Médio em 2.79 ha com valores de classe entre 2.1 e 4.0 e Alto em 23.45 ha com valores acima de 4.0, significando que a lavoura possui aproximadamente 90% de sua área com valores altos de cálcio.

A Figura 33 apresenta o Modelo Digital dos Teores de Cálcio no solo

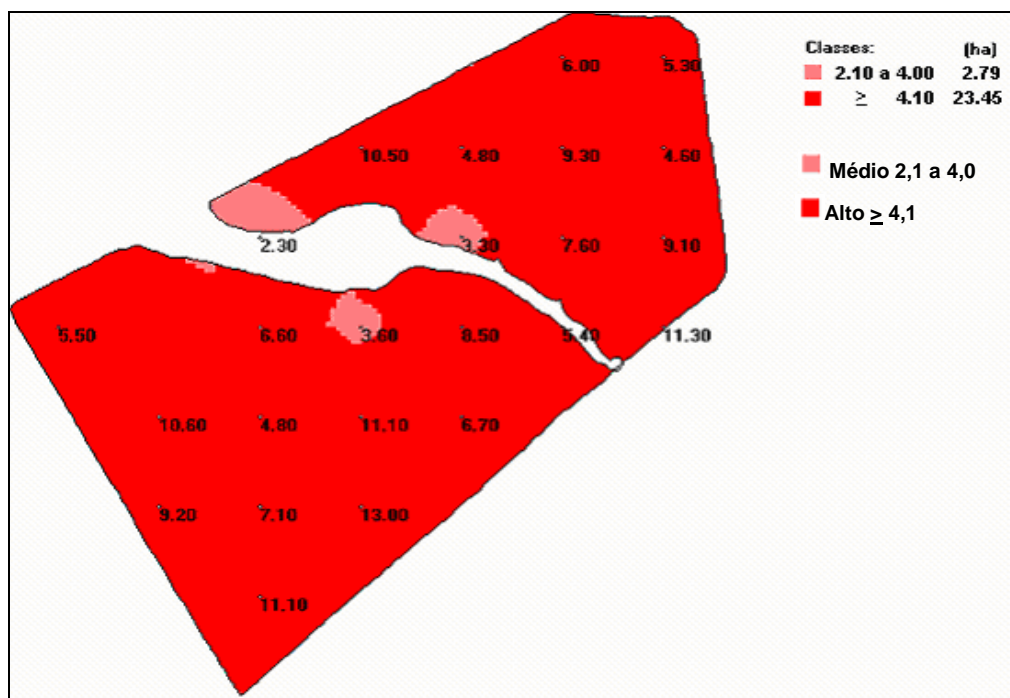


Figura 33: Modelo Digital do Cálcio $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos: 0;

Média dos Desvios Observados: 0;

Índice Residual Normalizado: 0.0005;

Desvio Padrão: 0.004;

Maior Desvio Padrão: 0.01.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 400 metros e que o grau de casualidade foi de 0.46, sendo que o mesmo é maior que 0.30 o que significa que o componente aleatório é altíssimo e significativo.

Dados do Gráfico e Semivariograma:

Alcance: 400 metros;

Grau de Casualidade: 0.46;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante > 0.30.

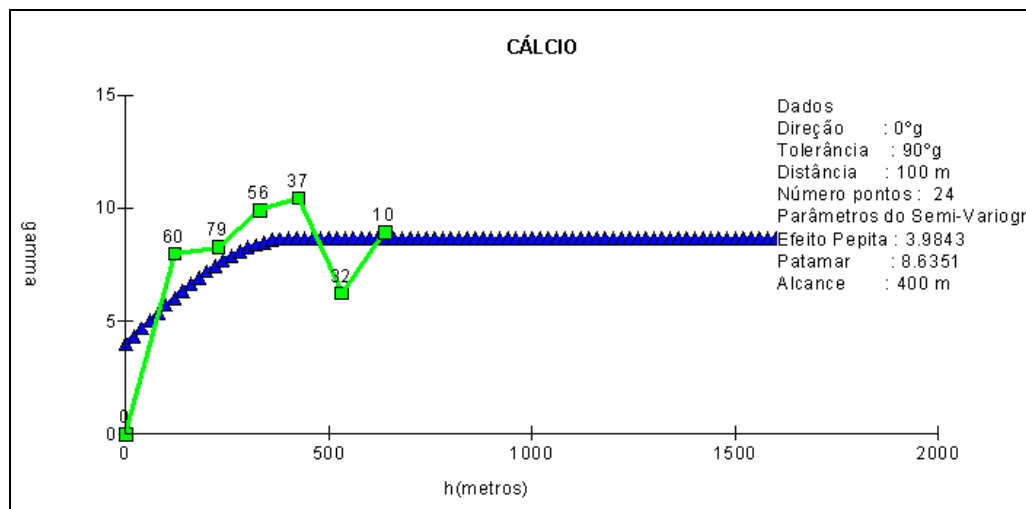


Figura 34: Gráfico do semivariograma do Cálcio

4.3.7 Modelo Digital do Magnésio $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$

A Figura 35 mostra que o teor de magnésio no solo da lavoura está classificado como Médio em 1.77 ha com valores entre 0.60 a 1.0 e Alto em 24.47 ha com valores maiores que 1.10 o que significa que aproximadamente 95% da área da lavoura possui valores altos de magnésio.

A Figura 35 apresenta o Modelo Digital do Magnésio no solo.

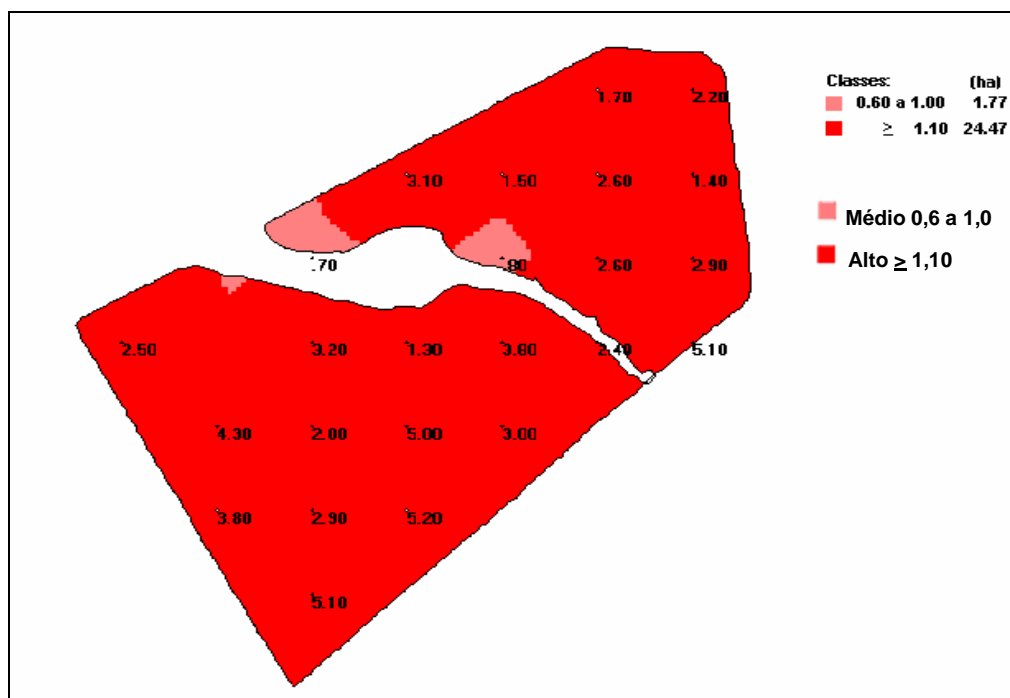


Figura 35: Modelo Digital do Magnésio $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos: 0;

Média dos Desvios Observados: 0;

Índice Residual Normalizado: 0.0004;

Desvio Padrão: 0.002;

Maior Desvio Padrão: 0.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 400 metros e que o grau de casualidade foi de 0.37, sendo que o mesmo é maior que 0.30 o que significa que o componente aleatório é altíssimo e significativo.

Dados do Semivariograma:

Alcance: 400 metros;

Grau de Casualidade: 0.37;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante > 0.30.

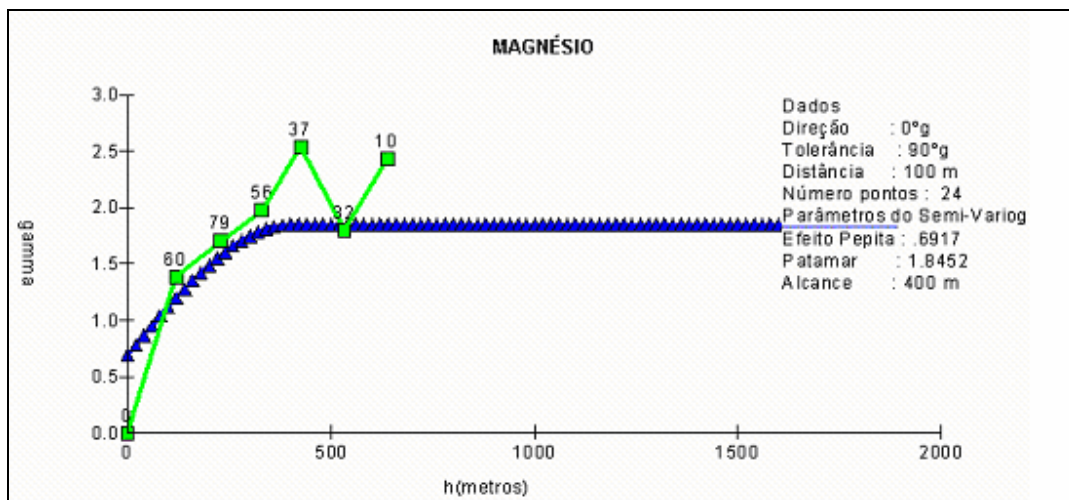


Figura 36: Gráfico do semivariograma do Magnésio

4.3.8 Modelo Digital do CTC pH 7.0 $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$

Conforme a Figura 37 o teor do CTC pH 7.0 no solo da lavoura esta classificado como Médio em 7.21 ha, possuindo valores entre 5.10 e 15.0, Alto em 19.03 ha com valores maiores ou iguais a 15,1 o que significa um percentual de aproximadamente 73% da lavoura com valores altos.

A Figura 37 apresenta o Modelo Digital do CTC pH 7.0.

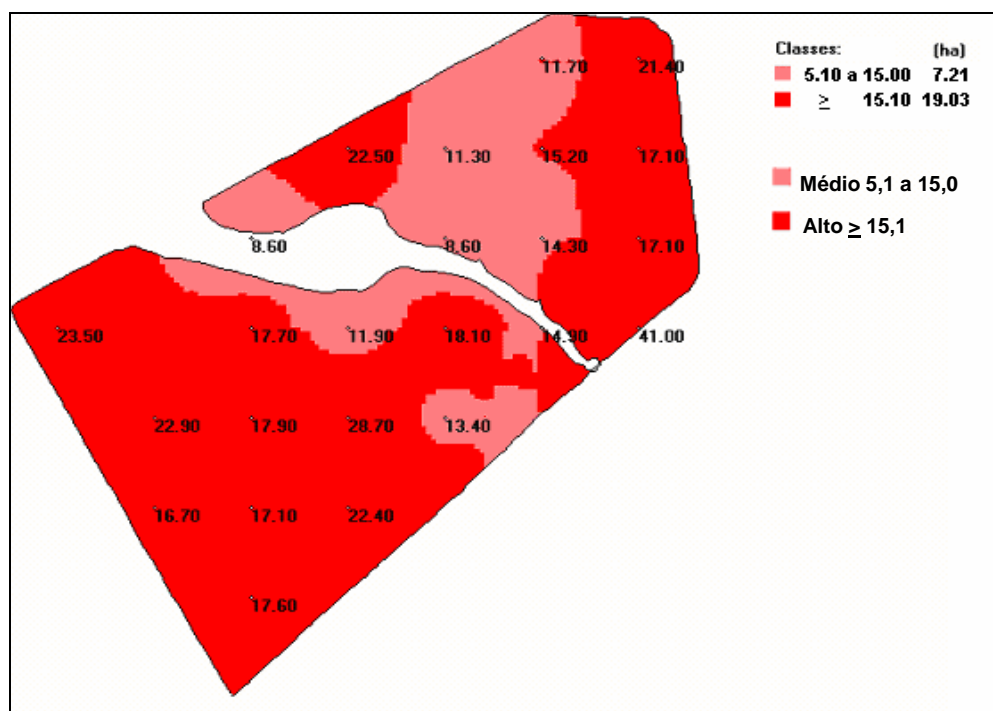


Figura 37: Modelo Digital do CTC pH 7 $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos: 0;

Média dos Desvios Observados:0;

Índice Residual Normalizado: 0.0003;

Desvio Padrão: 0.008;

Maior Desvio Padrão: 0.03.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 300 metros e que o grau de casualidade foi de 0.39, sendo que o mesmo é maior que 0.30 o que significa que o componente aleatório é altíssimo e significativo.

Dados do Semivariograma:

Alcance: 300 metros;

Grau de Casualidade: 0.39;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante > 0.30.

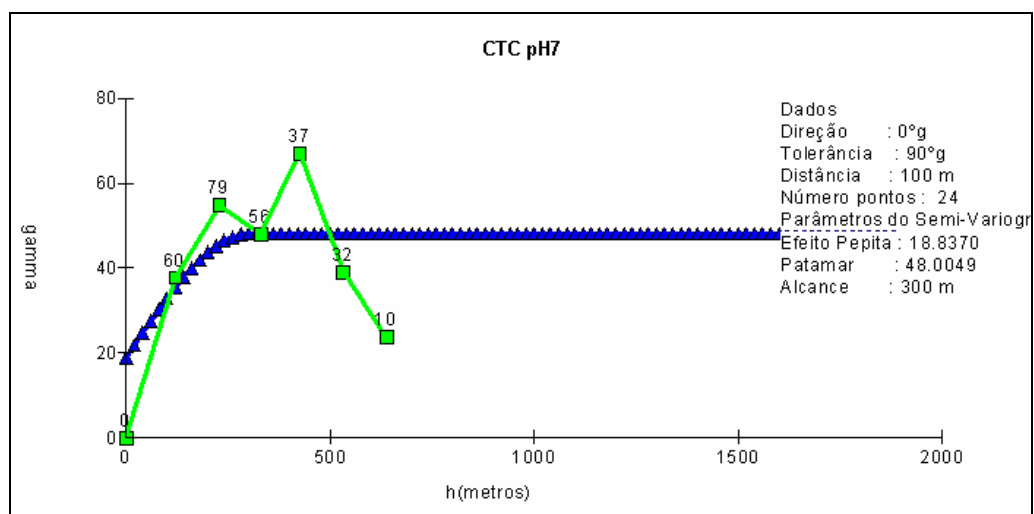


Figura 38: Gráfico do semivariograma do CTC Ph7

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos: 0.02;

Média dos Desvios Observados: 0.01;

Índice Residual Normalizado: 0.0004;

Desvio Padrão: 0.026;

Maior Desvio Padrão: 0.05.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 400 metros e que o grau de casualidade foi de 0.41, sendo que o mesmo é maior que 0.30 o que significa que o componente aleatório é altíssimo e significativo.

Dados do Semivariograma:

Alcance: 400 metros;

Grau de Casualidade: 0.41;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante > 0.30.

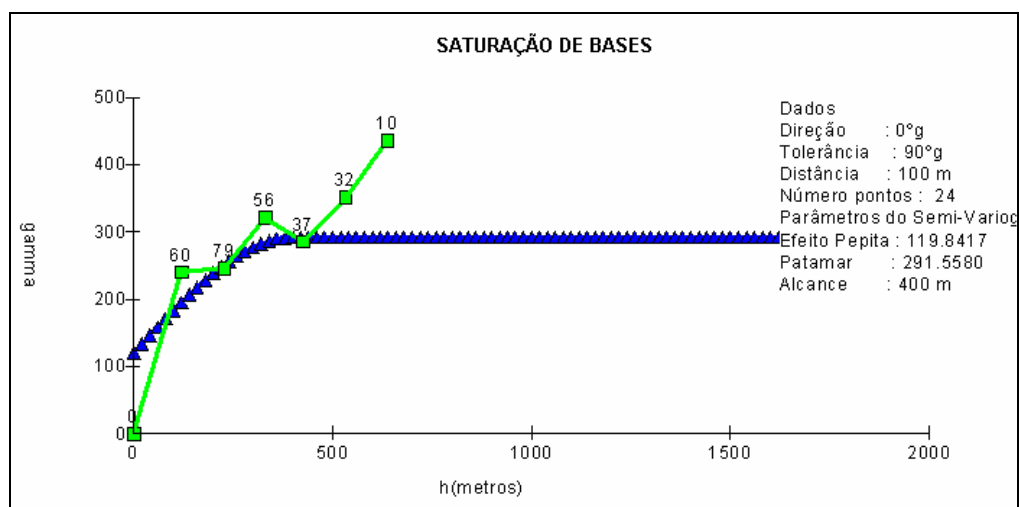


Figura 40: Gráfico do semivariograma da Saturação de Bases

4.3.10 Modelo Digital de Saturação de Alumínio (%)

Conforme mostra a Figura 41 a saturação de alumínio no solo da lavoura está classificado como Baixo em 10.30 ha com valores entre 1 e 10%, Médio em 10.90 ha com valores entre 10.1 e 20% e Alto em 5.04 ha com valores maior que 20%, onde podemos verificar que os percentuais de Baixo e Médio se aproximam ficando em torno de 40% cada percentual no total da área da lavoura.

A Figura 41 apresenta o Modelo Digital de Saturação de Alumínio.

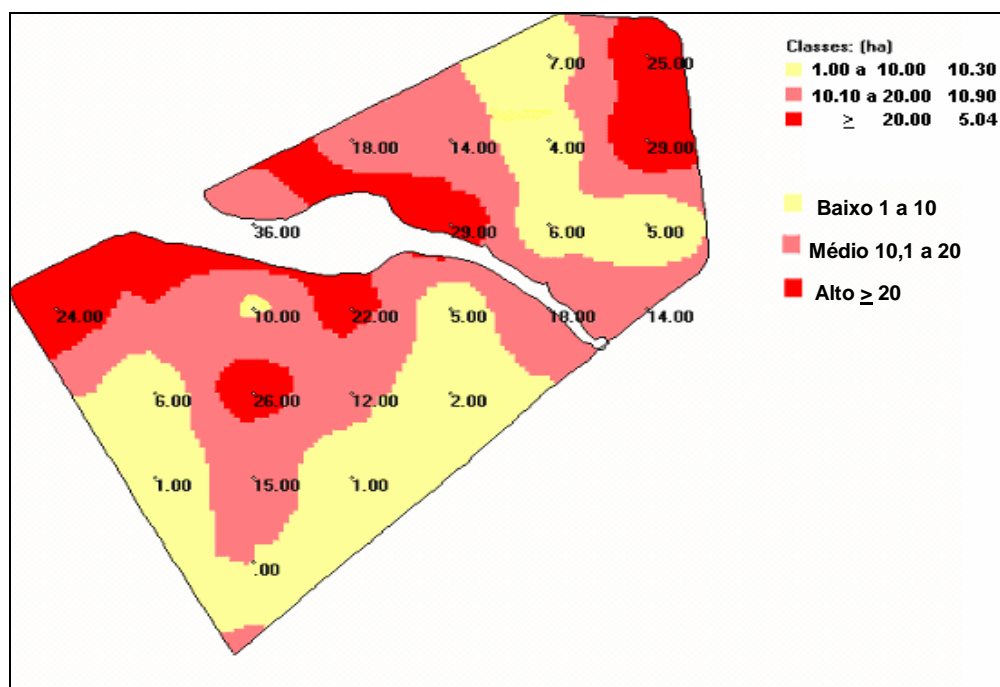


Figura 41: Saturação de Alumínio (%)

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos: 0;

Média dos Desvios Observados: 0;

Índice Residual Normalizado: 0.0007;

Desvio Padrão: 0.001;

Maior Desvio Padrão: 0.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 400 metros e que o grau de casualidade foi de 0.45, sendo que o mesmo é maior que 0.30 o que significa que o componente aleatório é altíssimo e significativo.

Alcance: 400 metros;

Grau de Casualidade: 0.45;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante > 0.30.

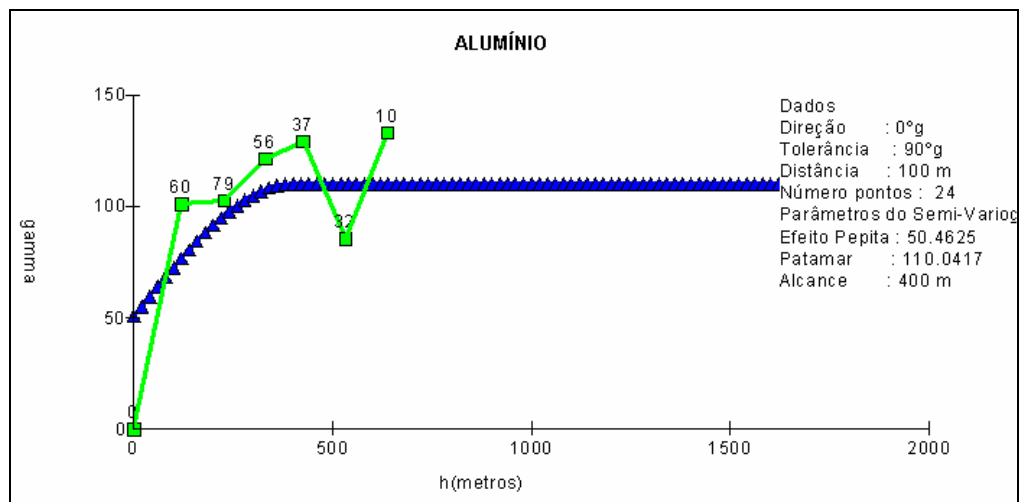


Figura 42: Gráfico do semivariograma do Alumínio

4.3.11 Modelo Digital do Zinco mg dm⁻³

A Figura 43 mostra que o teor de zinco no solo da lavoura está classificado como alto, pois apresenta em 26,24 ha valor acima de 0.50, isso demonstra que 100% da lavoura possui nível alto de zinco.

A Figura 43 apresenta o Modelo Digital do Zinco.

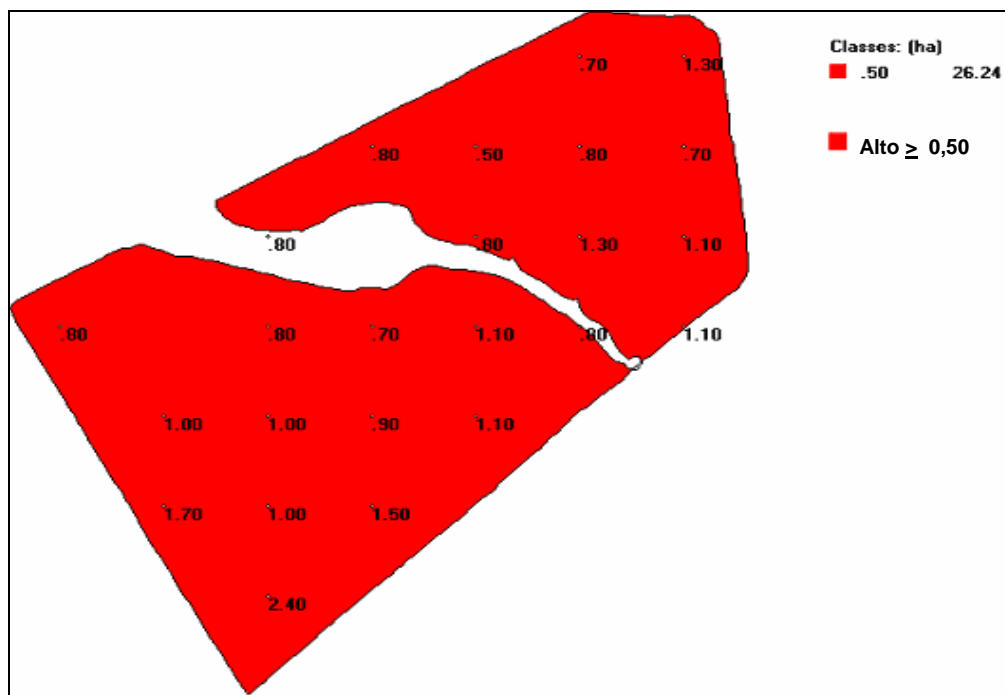


Figura 43: Modelo Digital do Zinco mg dm⁻³

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos: 0;

Média dos Desvios Observados: 0;

Índice Residual Normalizado: 0.0001;

Desvio Padrão: 0;

Maior Desvio Padrão: 0.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 500 metros e que o grau de casualidade foi de 0.27, sendo que o mesmo é maior que 0.15 e menor que 0.30 o que significa que o componente aleatório é significativo.

Dados do Semivariograma:

Alcance: 500 metros;

Grau de Casualidade: 0.27;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante de $0.15 < GC < 0.30$.

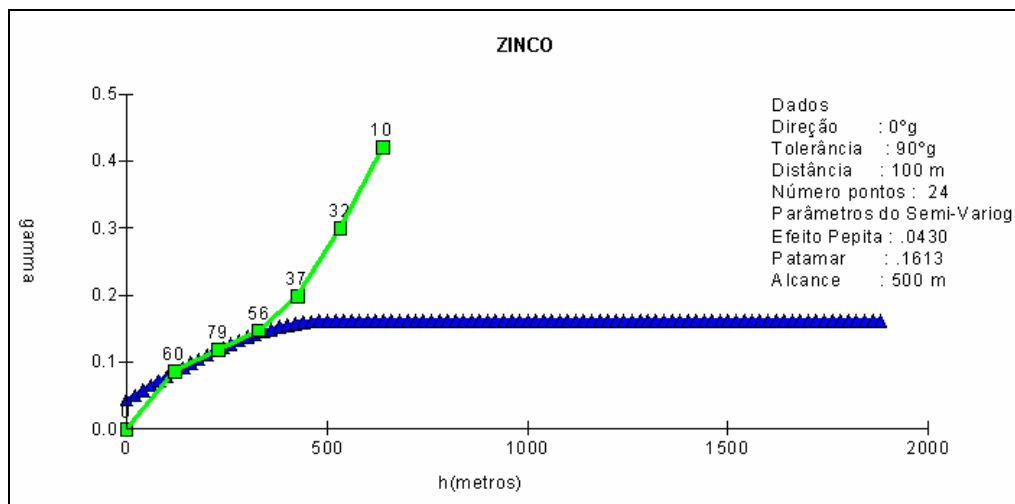


Figura 44: Gráfico do semivariograma do Zinco

4.3.12 Modelo Digital do Cobre mg dm^{-3}

De acordo com a Figura 45 o teor do cobre no solo da lavoura esta classificado como Alto em toda área da lavoura apresentando 26.24 ha, o que representa 100% de teor Alto de zinco com intervalo de classe maior que 0.40.

A Figura 45 apresenta o Modelo Digital de Saturação de Alumínio.

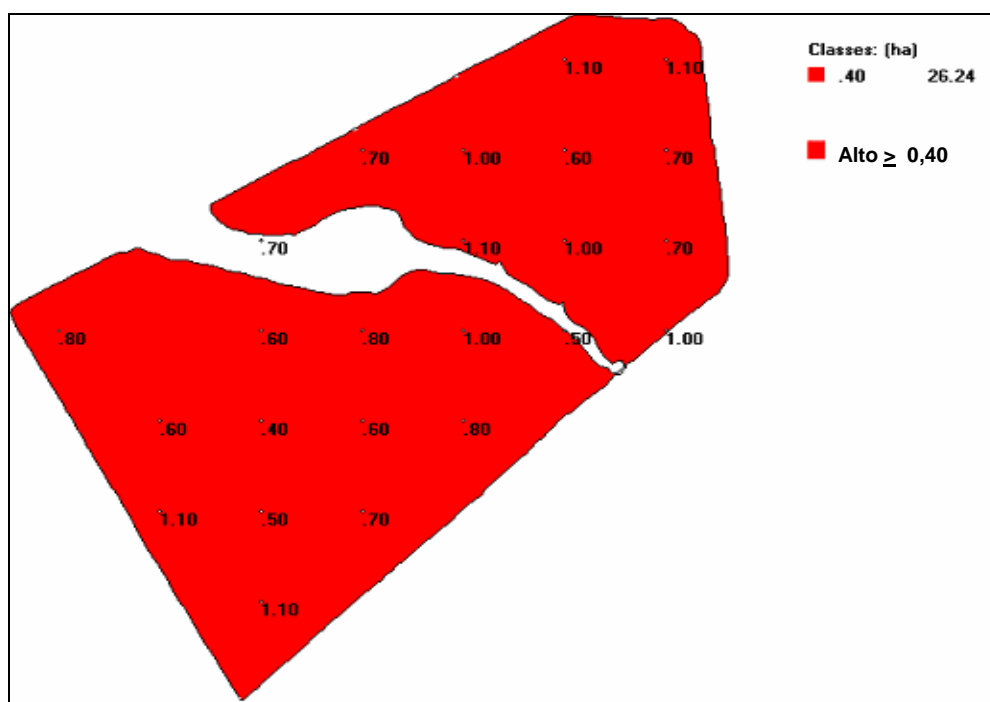


Figura 45: Modelo Digital do Cobre mg dm^{-3}

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos: 0;

Média dos Desvios Observados:0;

Índice Residual Normalizado: 0;

Desvio Padrão: 0;

Maior Desvio Padrão: 0.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 500 metros e que o grau de casualidade foi de 0.48 sendo que o mesmo é maior que 0.30 o que significa que o componente aleatório é altíssimo e significativo.

Dados do Semivariograma :

Alcance: 500 metros;

Grau de Casualidade: 0.48;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante > 0.30.

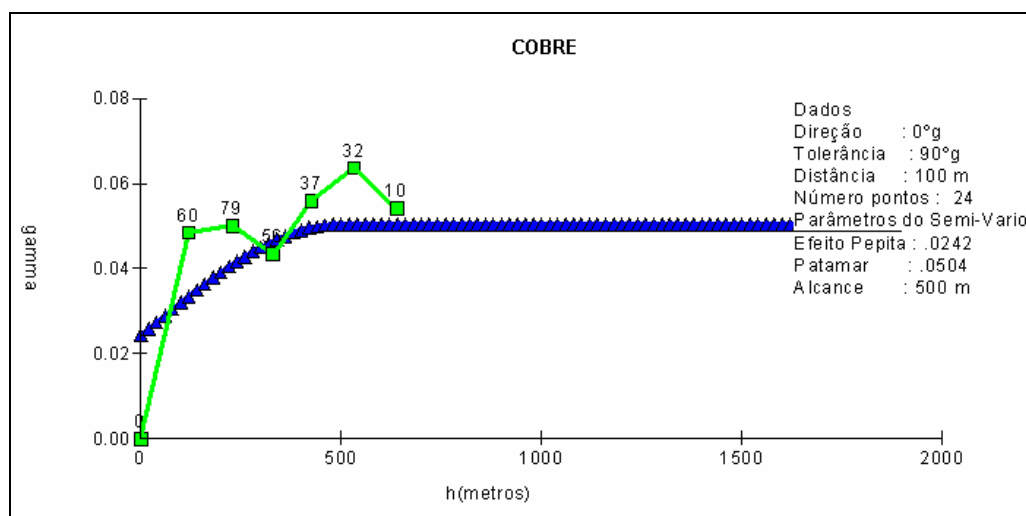


Figura 46: Gráfico do semivariograma do Cobre

4.3.13 Modelo Digital do Enxofre mg dm⁻³

Conforme mostra a Figura 47 o teor de enxofre no solo da lavoura está classificado como Alto, pois aparece representado nos 26.24 ha com valores maiores que 5.0, o que representa 100% de teor de enxofre Alto na área.

A Figura 47 apresenta o Modelo Digital do Enxofre.

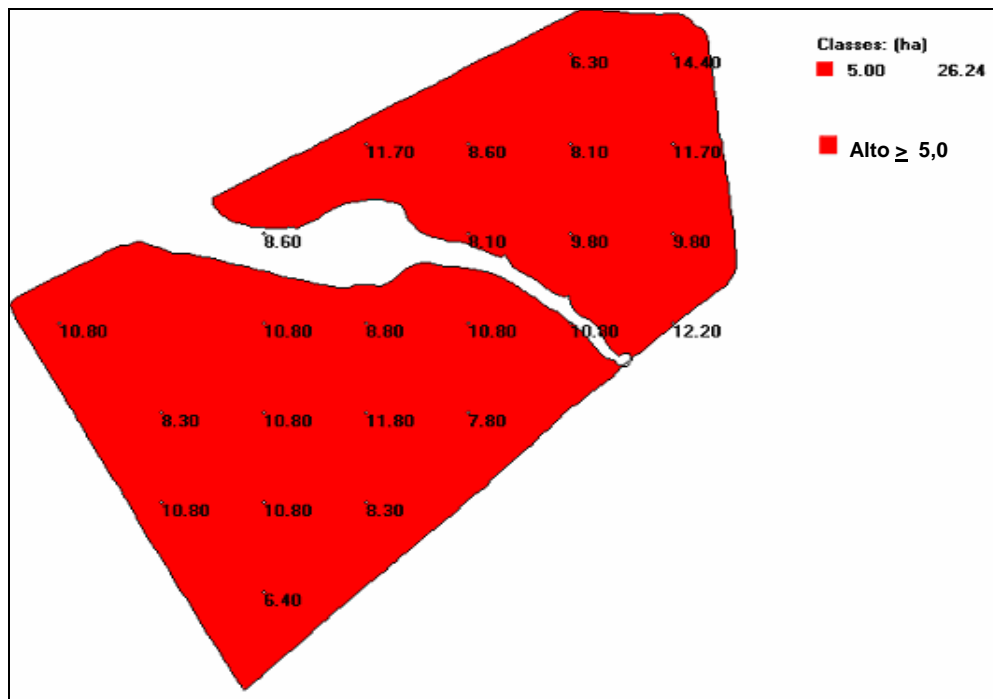


Figura 47: Modelo Digital do Enxofre mg dm⁻³

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos:0;

Média dos Desvios Observados:0;

Índice Residual Normalizado: 0.0002;

Desvio Padrão: 0.003;

Maior Desvio Padrão: 0.01.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 500 metros e que o grau de casualidade foi de 0.45, sendo que o mesmo é maior que 0.30 o que significa que o componente aleatório é altíssimo e significativo.

Dados do Semivariograma:

Alcance: 500 metros;

Grau de Casualidade: 0.45;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante > 0.30.

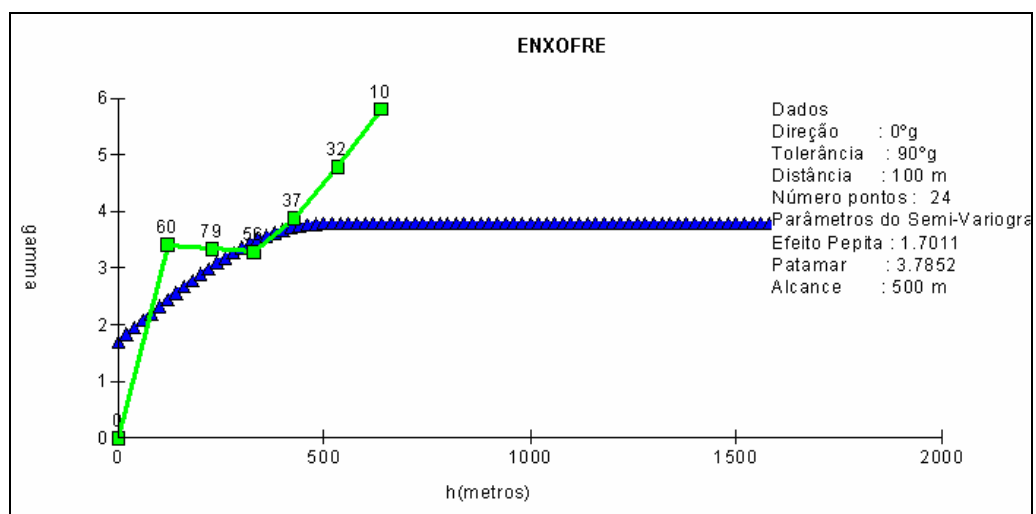


Figura 48: Gráfico do semivariograma do Enxofre

4.3.14 Modelo Digital do Boro mg dm^{-3}

Como mostra a Figura 49 o teor de boro no solo da lavoura esta classificado com Médio em 14.85 ha com valores entre 0.10 e 0.30 e, Alto em 11.39 ha com valores maior que 0.30, representando aproximadamente 57% da área com valores de boro Médio.

A Figura 49 apresenta o Modelo Digital do Boro.

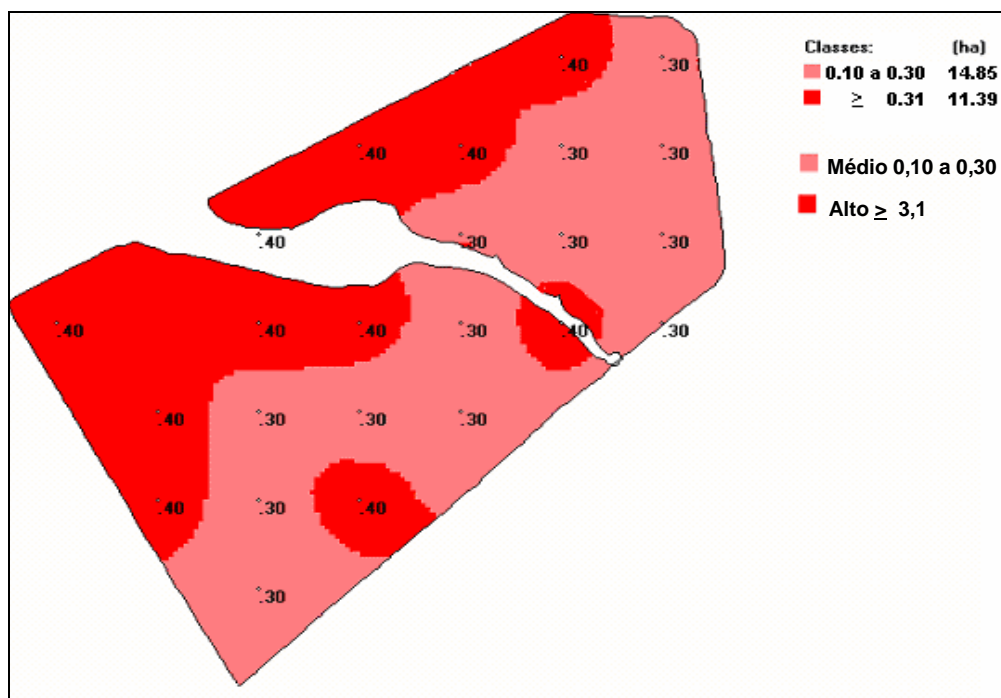


Figura 49: Modelo Digital do Boro mg dm^{-3}

De acordo com os dados obtidos na geração do Modelo Digital, verifica-se uma alta precisão no ajuste, conforme nos mostra os parâmetros abaixo descritos.

Média dos Desvios Absolutos: 0;

Média dos Desvios Observados: 0;

Índice Residual Normalizado: 0;

Desvio Padrão: 0;

Maior Desvio Padrão: 0.

Na análise do semivariograma verifica-se que o alcance da dependência espacial é de 400 metros e que o grau de casualidade foi de 0.48, sendo que o mesmo é maior que 0.30 o que significa que o componente aleatório é altíssimo e significativo.

Dados do Semivariograma :

Alcance: 400 metros;

Grau de Casualidade: 0.48;

Grau de Casualidade do Componente Aleatório Significante > 0.30.

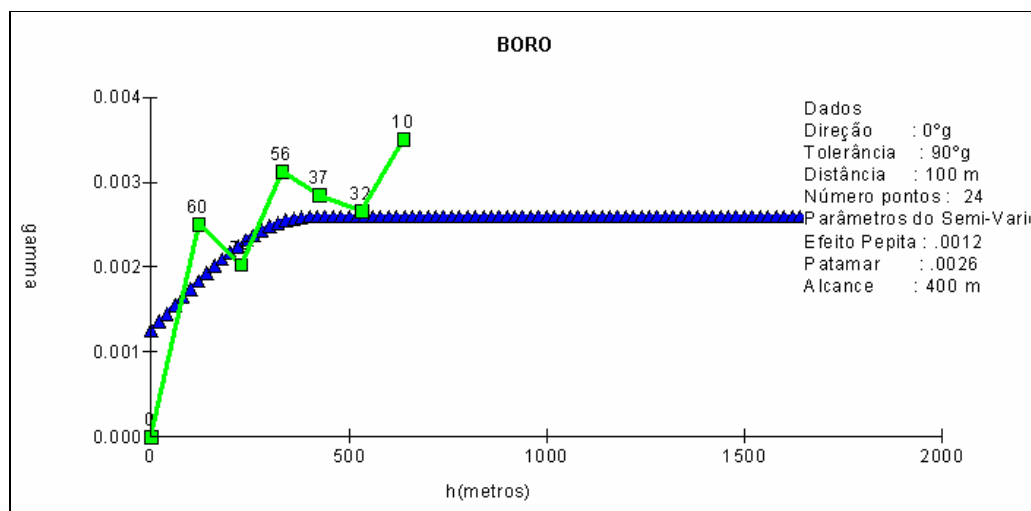


Figura 50: Gráfico do semivariograma do Boro

4.4 Análise de Correlação entre Valores de Reflectância e Valores de Fertilidade

O Quadro 3 mostra a correlação entre valores de reflectância espectral e valores de fertilidade do solo.

Ikonos e Cbers	azul	verde	vermelho	ir próx	ir médio	ir médio	pan
Correlação	450 - 520	520 - 590	630 - 690	760 - 900	1550 -1750	2080 - 2350	450 - 900
argila	-0.3133	-0.2999	-0.2913	-0.2786	-0.2915	-0.3157	-
boro	0.1051	0.1049	0.1113	0.1134	0.1698	0.2216	0.2895
cálcio	-0.0322	-0.0415	-0.0577	-0.0568	-0.0049	-0.0511	-
cobre	0.2496	0.2367	0.2187	0.1705	0.0747	0.1364	0.0528
ctcph7	-0.2289	-0.2248	-0.2219	-0.2206	-0.2063	-0.2315	-
enxofre	-0.1036	-0.0778	-0.0465	-0.0029	-0.005	-0.036	0.2035
fósforo	-0.1505	-0.1421	-0.1444	-0.1608	-0.2236	-0.1613	-
magnésio	-0.0039	0.0046	0.0099	0.0047	0.0983	0.062	0.0048
mat. Orgânica	-0.1799	-0.1552	-0.1251	-0.1306	-0.0288	-0.0399	-
Ph	0.2134	0.1798	0.1381	0.0898	0.2094	0.2189	0.1396
potássio	-0.1401	-0.1151	-0.0936	-0.0712	0.0029	-0.0396	-
sat aluminio.	-0.3188	-0.3131	-0.308	-0.2825	-0.2946	-0.2993	0.0928
sat base	0.2923	0.2813	0.2649	0.2549	0.3027	0.2786	-
zinco	0.0048	0.0012	-0.0014	-0.0125	0.1299	0.0892	0.2983

Quadro 3: Correlação das Bandas Espectrais das Amostras com as Análises de Solo.

De acordo com o quadro acima podemos observar a correlação entre os valores de reflectância espectral de 7 bandas do espectrorradiômetro referentes aos satélites CBERS 2 e IKONOS, cruzando com valores das análises de fertilidade do solo, feita através do Software CR Campeiro 6. Em algumas variáveis observa-se correlação com valores positivos, e em outras variáveis, com baixa correlação ou correlação inversa, com valores negativos. As variáveis selecionadas em negrito mostram os pontos de maior correlação. No caso do Boro a presença de correlação aparece em 2 pontos do

modelo, com relação ao comprimento de onda da faixa do Infravermelho Médio 1550 a 1750 e na faixa do comprimento de onda de 2080 a 2350nm. Para a variável de fertilidade Cobre observa-se uma maior correlação na faixa do Azul 450 a 520nm, do Verde 520 a 590 nm, e na faixa Infravermelho Próximo no comprimento de onda de 760 a 900nm. Na variável de fertilidade Fósforo podemos observar correlação no comprimento do Azul 450 a 520nm. Na variável Magnésio a correlação aparece na faixa do Pancromático 450 a 900nm e na variável de fertilidade Zinco podemos observar uma maior correlação no Azul 450 a 520nm, no vermelho 630 a 690 nm e no Infravermelho Médio 1550 a 1750nm.

Ainda podemos observar que em algumas variáveis de fertilidade como a Saturação de Bases onde os valores de correlação são de 0.2923 para o azul, 0.2813 para o verde, 0.2649 para o vermelho, 0.2549 para o infravermelho próximo, 0.3027 para o infravermelho médio, 0.2786 para o infravermelho médio e 0.2657 para o pancromático. Todos os valores são positivos o que demonstra presença de uma correlação positiva, que visualizamos na Figura 39 do modelo digital onde aproximadamente 41% da área da lavoura possui valores baixos de Saturação de Bases indicando maior refletância entre as bandas do espectro.

Para a variável do Magnésio os valores apresentados foram de -0.0039 para o azul, 0.0046 para o verde, 0.0099 para o vermelho, 0.0047 para o infravermelho próximo, 0.0983 para o infravermelho médio, 0.0620 para o infravermelho médio, 0.0048 para o pancromático, o que significa que de acordo com a Figura 35 do modelo digital que aproximadamente 95% da área da lavoura apresenta teores altos de Magnésio e consequentemente representa baixos índices de reflectância espectral.

Na variável de fertilidade da Saturação de Alumínio onde os valores são de -0.3188 para o azul, -0.3131 para o verde, -0.3080 para o vermelho, -0.2825 para o infravermelho próximo, -0.2946 para o infravermelho próximo e -0.2983 para o pancromático. Esta variável apresenta correlação negativa pois de acordo com a Figura 41 do modelo digital 100% da área da lavoura apresenta alto índice de alumínio e portanto menor reflectância nas bandas.

Para a variável da Argila podemos observar valores de -0.3133 para o azul, -0.2999 para o verde, -0.2913 para o vermelho, -0.02786 para o

infravermelho próximo, -0.2915 para o infravermelho médio, -0.3157 para o infravermelho médio e -0.2895 para o pancromático. Nesta variável há presença de correlação inversa pois de acordo com a Figura 23 o teor de argila na lavoura é considerado médio em aproximadamente 76% da área e apresenta também baixos índices de reflectância na maioria das bandas do espectro.

5. CONCLUSÃO

Somente nas amostras de Boro, Cobre, Fósforo, Magnésio e Zinco os valores de reflectância espectral apresentaram uma pequena correlação com dados de análise de solo. Nas demais praticamente inexistente correlação das amostras com análises de solo, sendo a grande maioria dos valores negativos, o que evidencia correlação inversa.

Portando de acordo com os passos que nos propomos nesta pesquisa através dos objetivos específicos concluímos pela praticidade na elaboração dos Modelos Digitais e conseqüentes correções necessárias com maior economia, menor impacto ambiental e melhor aproveitamento da área da lavoura.

6. RECOMENDAÇÕES

Conforme etapas utilizadas para realização deste trabalho, torna-se importante observar alguns critérios como: escolha da área onde a preparação que a grade amostral seja significativa para agricultura de precisão, cuidado com o manejo das amostras - embalagem, identificação, secagem em local apropriado, análise de solo em laboratórios credenciados e utilização de um software onde se tenha confiabilidade, praticidade no manuseio e suporte técnico para futuras dúvidas e tomada de decisões.

Conforme a Figura 24 para o plantio de soja de acordo com o Rolas recomenda-se corrigir com calcário pelo índice SMP elevando o pH próximo a 6,0, favorecendo o desenvolvimento da simbiose rizóbio planta e a fixação de N do ar.

Na figura 26 a recomendação de correção do nível de fósforo considerado muito baixo na maior parte da área da lavoura, indica-se para cultivo de soja de acordo com Rolas para o 1º plantio 110 kg de P_2O_5 /ha e no 2º plantio 70 kg/ha, para área com índice baixo 1º plantio 70 kg/ha e 2º plantio 50 kg /ha, nível médio 1º plantio 60 kg/ha e 2º plantio 30 kg/há e para nível alto 30 kg/ha no 1º plantio e 30 kg/ha no 2º plantio.

De acordo com a Figura 28 as recomendações do Rolas para plantio de soja onde as distribuição de níveis de potássio se apresenta como baixo deverá ser de 85 kg de k_2O /ha no 1º plantio e de 65 kg no 2º plantio, para o nível médio de 75 kg de k_2O /há no 1º plantio e 45 kg no 2º e para nível alto 45 kg de k_2O /há no 1º plantio e 45 kg no 2º plantio.

No modelo da Figura 46 onde o teor de enxofre se apresenta como alto em toda área da lavoura a recomendação para o plantio de soja de acordo com o Rolas fica em

20 kg de S/ha onde o teor de enxofre for menor que 10mg dm^{-3} . Neste caso devemos aplicar 20kg de S/ha nos pontos 1, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 13, 17, 20, 23 e 24.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L. de, et al. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, , mar-abr, 2003. p.275-282.

AGOSTINETTO, D. **Aplicação de modelos matemáticos para estimar interferência de genótipos de arroz concorrentes e níveis de dano econômico em arroz irrigado**. UFRGS, 2003.

AMADO, T.J.C.; SANTI, A.L. Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: Fiorin, J.E. (coord.) **Manejo e fertilidade do solo no sistema de plantio direto**. Passo Fundo: Berthier, 2007. 184p. p 99 – 144.

ASMUS, L.M; KALIKOSKI, C.D. **Modelagem ecológica quantitativa**: primitivos necessários à aplicação em estudos ambientais. Trabalho apresentado no III Seminário sobre Representações e Modelagem no Processo de Ensino-Aprendizagem. Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, 17 a 19 de novembro de 1999. Disponível em: < <http://www.fisica.furg.br/mea/remea/anais3/artigo12.htm>>. Acesso em: 22 Ago. 2007.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de informações geográficas**: Aplicações na Agricultura. 2. ed. Brasília, 1998.

ASSIS, F.N. de; ARRUDA, H.V. de ; PEREIRA, A.R. **Aplicações de Estatística a Climatologia** : teoria e Prática. Passo Fundo: UFP. Ed. Universitária 1996.

ATAIDES, P.R.V.D. **Impactos ambientais**: um ensaio sobre métodos de estudo de um caso. Santa Maria: UFSM, 2001.

AZEVEDO, R.A.B. **Estrutura para a avaliação e monitoramento dos projetos do PD/A com base em indicadores**: Programa Piloto para a Proteção das Florestas tropicais do Brasil. Brasília, 1999.

AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. **Solos e Ambiente**: uma introdução. Santa Maria: Pallotti, 2004. 100 p.

AZEVEDO, A.C. ; DALMOLIN, R.S.D. **Solos e Ambiente: uma introdução**. Santa Maria: 2 ed. Pallotti, 2006. 100 p.

BARBIERI, E. **Crescimento populacional e o aumento da pobreza e da degradação ambiental**. Aracaju : UFS, 2004. Disponível em:<<http://www.pautasocial.com.br/artigo.asp?idartigo=25>>. Acesso em: 05 jun. 2006.

BARETTA, D. et al. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, n.11, p.1675-1679, 2006.

BARETTA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com Araucária angustifolia no Estado de São Paulo**. 2007. 158 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

BECKER, E.L.S. **O estudo da paisagem na micro-bacia do Arroio do Veado através do sensoriamento remoto e do sistema de informação geográfica**, 1999. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

BERNARDI, A. C. de C. et al. Avaliação espacializada do estado nutricional da soja. In: MACHADO, P. L. O. de A; BERNARDI, A. C. de C; SILVA, C. A. (editores) **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2004. 209 p. p 131 – 152.

BRANDELERO, C. **Aplicabilidade da tecnologia móvel em atividades de silvicultura de precisão: mapeamento, inventário e geoestatística florestais**. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

BRASIL, Leis, etc. **CÓDIGO FLORESTAL FEDERAL**. Nº 4.771 Artigo 2º, 15 de setembro de 1965.

_____. Leis, etc. **RESOLUÇÃO CONAMA**. Nº 004. Artigo 3º., 18 de setembro de 1985.

CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos.** (Computação Aplicada – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). São José dos Campos, 1995.

CARMO, C.T. **Gestão da performance em instituição federal de educação tecnológica estudo de caso CEFETE-ES.** 2003. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CASTELLS, M. **A Sociedade em Rede.** São Paulo: Paz e Terra, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: E. Blücher, 1999.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: E. Blücher, 2002. 236 p.

COELHO, A.M. Agricultura de precisão: Manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 249-290. 2003.

CROSTA, A.P; **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas: Unicamp, 1999.

DALMOLIN, R.S.D. ; PEDRON, F. de A. Distribuição dos solos no ambiente. In: AZEVEDO, A. C. ; DALMOLIN, R.S. D. ; PEDRON, F. de A. **Solos e Ambiente – I Fórum.** Santa Maria: Pallotti, 2004. p. 23 – 39.

DEMATTÊ, J.A.M.; Souza, A. A.; NANNI, M. F. Avaliação espectral de amostras de solos e argilo-minerais em função de diferentes níveis de hidratação. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DO SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais...** Santos, INPE, 1998. p 1295 – 1298.

_____. **Manejo e conservação do solo**. 2007. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 2007. Disponível em: <http://www.solos.esalq.usp.br/LSO%20660%20arp%2013%20MC_sensor_caP4_31_05.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2008.

DUARTE, P.A. **Fundamentos de cartografia**. Florianópolis: UFSC, 2002.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Programa Nacional de Avaliação de Linhagens**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1994.

EMBRAPA, **Zoneamento agroclimático da cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul** : recomendação de épocas de semeadura por município. 1996. (FOLHETO)

_____. **Os Recursos Naturais no Estado do Rio Grande do Sul: Passado, Presente e Futuro**. BAGE: CPPSul, 2000.

_____. **Solos**. <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/pedotransferencia.pdf> consulta feita dia 30 de outubro 2003.

ERBA, D.A. **Topografia para estudantes de arquitetura, engenharia e geologia**. In: THUM, A.B. et al ... São Leopoldo: Ed. da Unisinos, 2003.

FARIAS, P. R. S.; BARBOSA, J.C.; VIEIRA, S.R.; SÁNCHEZ-VILA, X.; FERRAZ, L.C.C.B. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated in crop rotation. **Russian Journal of Nematology**, v.10, 2002. p.01-09.

FERREIRA, M.E. ; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA JÚNIOR, M.E.F. **Avaliação da fertilidade empregando o sistema IAC de análise de solo**. Jaboticabal: FCAV, 1990. 94 p.

FERREIRA, L.L. - **A legislação ambiental e sua aplicação em Santa Maria**. Monografia (Especialização em Educação Ambiental). 2000, 76 f , Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

FIORIN, J.E. (coord.). **Manejo e fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Berthier, 2007. 184 p.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FOLEGATTI, M. V. **Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso**. 1996. 96f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

FONSECA, L.M.G. **Processamento digital de imagens**. São José dos Campos: INPE, 2001.

FORTES, A.B. **Geografia física do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Globo, 1959.

GALVÃO, A.P.M. ; SILVA, V.P.D. **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso**. Colombo: Embrapa Floresta, 2005.

GARCIA, S.M. **Florestamento compensatório para retenção de água em microbacias**. Santa Maria: UFSM, 2001.

GIOTTO, E. **A agricultura de precisão com sistema CR Campeiro 6**. Santa Maria: UFSM, 2004.

GOEDERT, W.J. ; LOBATO, E.O. solo como base dos sistemas de produção agrícola. In: MONIZ, A.C. et al... coord. **A responsabilidade social da ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p. 101-108.

GOMES A.G. ; VARRIALE, M.C. **Modelagem de ecossistemas: uma introdução**. 2 ed. Santa Maria: Ed UFSM, 2004. 503 p

GUERRA, A.J.T. ; CUNHA, S.B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 398 p.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Brasília: MMA/DNPM, 1988. 145p.

GUIMARÃES, E.P. ; SANT'ANA, E.P. Sistemas de cultivo. In: Embrapa Arroz e Feijão. **A cultura do arroz no Brasil**. Goiânia : Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p.17-35.

HAMMES, V.S. **Educação ambiental para o desenvolvimento sustentável – agir, percepção da gestão ambiental.** Brasília : Informações Tecnológica, 2002. 130 p.

IBGE. **Cidades.** <http://www.ibge.gov.br> consulta feita em 08/12/2007.

IRGA **Sugestões para produção de arroz irrigado com baixo impacto ambiental.** Cachoeirinha: SOSBAI, 2004, 16 p. (Boletim Técnico)

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA; R.M. **Applied geostatistics.** 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 1989. 561p.

ISAIA, E.M.B.I. **Geoprocessamento e educação ambiental no processo de gestão do conflito socioambiental do Arroio Cadena.** 2004. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

ITAQUI, J. **Quarta Colônia inventários técnicos flora e fauna.** Santa Maria: CONDESUS, 2002.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective.** New Jersey: Prentice Hall, 1986.

KAYSER, L.P. **A produção de informações georreferenciadas na cadeia avícola do rio grande do sul.** 2006. 72 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

KLEINPAUL, J.J. **Análise Multitemporal da Cobertura Florestal da MicroBacia do Arroio Grande, Santa Maria, RS.** 2005. 79 f. (Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

KOUAKOU, N'Dri R. **Complexos agroindustriais: dinâmica de povoamento e impactos ambientais. uma avaliação por geoprocessamento da subprefeitura de Dabou** 1997. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos.** São Paulo, Ed. UNESP, 1998. 226p.

LANNA, A.E. A inserção da gestão das águas na gestão ambiental. In: MUNOZ, H. R. (Org.) **A interface da gestão dos recursos hídricos**. Brasília: MMA, 2003. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo>>. Acesso em 25 Ago. 2007.

LAVORATO, M.L.A. **A importância da educação ambiental para o Brasil e o mundo**. 2004. Disponível em:<<http://www.pautasocial.com.br/artigo.asp?idartigo=117>>. Acesso em:05 jun.2006.

LAZARINI, C.E.L. et al. **Recuperação de matas de galeria**: estudos de caso no Distrito Federal e entorno. Brasília: EMBRAPA, 2001.

MCBRATNEY, A. B.; HART, G. A.; MCGARRY, D. The use of region partitioning to improve the representation of geostatistically mapped soil attributes. **Soil Science of America Journal**. v.42, 1991. p. 513-532.

MACHADO, P. L. O. de A. et al, Estudo de caso em agricultura de precisão: manejo de lavoura de soja na região de campos gerais,PR. In BERNARDI, A. C. de C; et al, ed. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2004. 209 p, p 93 – 113.

____, P. L. O. de A; BERNARDI, A. C. de C; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2004. 209 p.

MACIEL, F.C.L. **Cartas de Unidades Geotécnicas de Santa Maria**. Santa Maria, 1990.

MAGALHÃES, A.M.D. ; GOMES, A.D.S. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: EMBRAPA ,2004.

MARCHIORI, J.N.C. **Dentologia de gymnospermas**. Santa Maria: UFSM, 1996.

MARTINELLI, M. **Mapas de geografia e cartografia**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2005.

MENEZES L. ; IÓRIO, C.M. **Educação ambiental**: uma abordagem pedagógica dos temas da atualidade. Erechim: CRAD, 1994. 88 p.

MIGUEL, P. **Comportamento espectral de algumas classes de solos do rio grande do sul**. Santa Maria: UFSM. <http://w3.ufsm.br/ppgs/congressos/CBCS.RECI>

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão, parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento**. Engenharia Agrícola, 1997, v.17, p.97-107.

MONTOVANI, W. Recuperação e monitoramento de ecossistemas: escalas de abordagem. In: SIMPOSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 1998, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: ACIESP, 1998.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. atual. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320 p.

MOURA, A.C.M. **Geoprocessamento na gestão de planejamento urbano**. Belo Horizonte, Ed. da Autora, 2003.

MOTA, F.S. DA. **Metereologia agrícola**. São Paulo: Nobel, 1989.

NOVO, E.M.L.D. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2. ed. São José dos Campos, 1998.

OLIVEIRA, C.F. **Censo da lavoura do arroz irrigado do Rio Grande do Sul- safra 2004/5**. – Porto Alegre: IRGA, 2006. 122 p.

PEDRON, F. de A. et al. Utilização do sistema de avaliação do potencial de uso urbano das terras no diagnóstico ambiental do município de Santa Maria – RS. 2006. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n.2, 2006. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cr/v36n2/a17v36n2.pdf>>. Acesso em: 05 Nov. 2007.

PEREIRA, J.A. **A cultura do arroz no Brasil: subsídios para a sua história**. Brasília: EMBRAPA, 2002.

RAMALHO FILHO, A. ; PERREIRA, E.G. ; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Brasília. SUPLAN/EMBRAPA-SNCLS. 1978, 70 p.

REINERT, D.J. et al. Principais solos da Depressão Central e Campanha do Rio Grande do Sul; guia de excursão. 2 ed. Santa Maria: UFSM/CCR/Departamento de Solos, 2007.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000. 220 p.

_____. **GPS de navegação: para mapeadores, trilheiros e navegadores**. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2003. 124 p.

_____. **GPS : uma abordagem prática**. 4. ed. ver. e ampl. Recife: Bagaço, 2003. 231 p.

ROCHA, J.A.M.R. **O ABC do GPS**. 1. ed. Recife: Ed. Bagaço, 2004.

RODRIGUES, R.R. ; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de formações ciliares In: RODRIGUES, R,R ; LEITÃO FILHO, H.F. ed. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo/Fapesp, 2000.

ROSS,J.L.S. Análise empírica da fragilidade ambiental dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do departamento de geografia**, v.960, p.63 – 74, 1994.

ROQUE, M.W. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em solos de uma transeção perpendicular a um dreno natural**. 2003, 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos do solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. 1996. 91f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SANGOI, L.F. **Emprego de geotecnologias na gestão de unidades de produção avícola**. 2005. 60 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 2005

SARAIVA, A.M. ; CUGNASCA, C.E. ; HIRAKAWA, A.R. **Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes**. In: BOREM, A. et al. **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, 2000. p. 109-145.

SARTORI, M. DA G.B. **O clima de Santa Maria- RS do regional ao urbano**. 1979. 165 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

SILVA, J.X.D. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. do autor, 2001. 227 p.

SILVA, J.X.D. ; ZAIDAN, R.T. **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertran Brasil, 2004.

SILVA, X.D. Metodologia de geoprocessamento. **Revista da Pós-Graduação em Geografia**. v.1, p.25-34,1997.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO.Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC, 2004. 394 p.

STEIN, A.; HOOGERWERF, M.; BOUMA, J. Use of soil map delineations to improve (co)kriging of point data on moisture deficits. **Geoderma**. v.43, 1998. p. 163-167.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

SULZBACH,L.A.S. **Tecnologias de agricultura de precisão: estudo de caso: integração de modelos digitais de atributos químicos do solo e modelos digitais de produtividade de culturas agrícolas**. 2003. 168 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

TOSI, F.A.**Principais aplicações de SIG na agricultura**, Disponível em <<http://www.gpsglobal.com.br/Artigos/Agricola/SIG.html#04>> Acesso em 29 Ago. 2007.

TRAGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. **Application of geostatistics to spatial studies of soil properties**. Advances in Agronomy. V.38, 1985. p. 45-94.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

VALENCIA, L. I. O. et al, Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In MEIRELLES, M. S. P; Berttini, C. (editores) **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: embrapa, 2004. 209 p. p 37 – 92.

VIEIRA, S. R. LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. **Bragantia**, v.54, n.2, 1995. p.405-412.

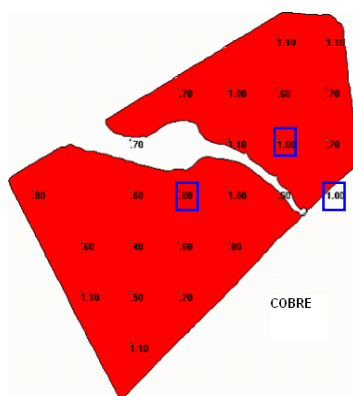
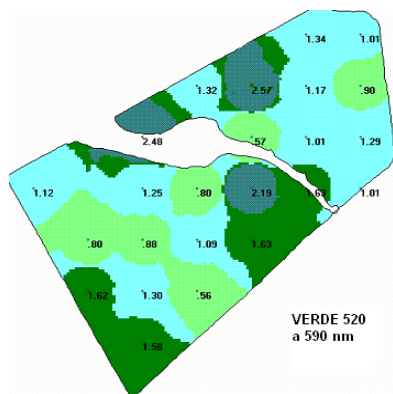
VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. *In*: BORÉN, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIRÓZ, D. M.; MONTOVANI, E.C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Giúdice & Borén, 2000. p.93-108.

ZIMBACK, C. R. L. **Elementos de geostatística**. Botucatu: GEPAG, FCA, UNESP, 2003. 23p.

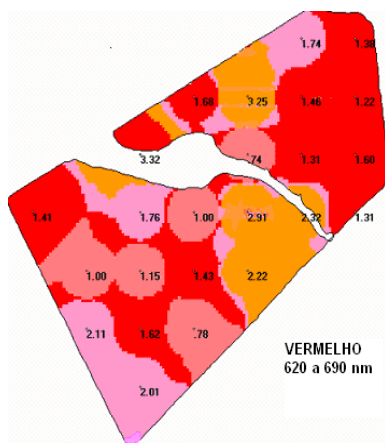
ANEXO 1

Amostra de pontos de correlação de acordo com o Quadro 3

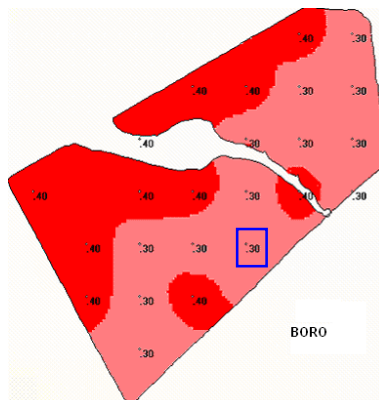
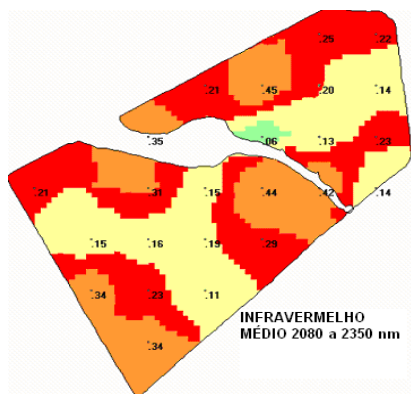
Banda do verde 520 a 590 nm.



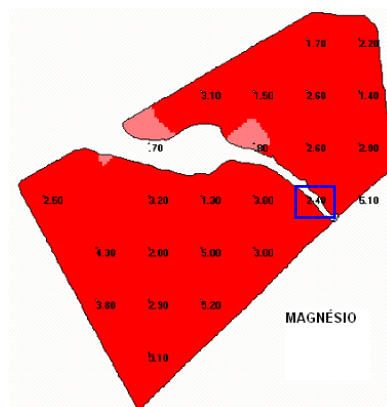
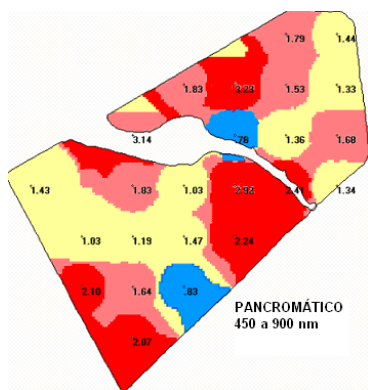
Banda do vermelho 630 a 690 nm.



Banda do infravermelho médio 2080 a 2350 nm.



Banda do pancromático 450 a 900 nm.



ANEXO 2

Resposta espectral de amostras de solo 350 a 2500 nm

