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

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA INFESTAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS

ANDRÉ SALVADOR
Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP
Fevereiro - 2002

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

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA INFESTAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS

ANDRÉ SALVADOR
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP
Fevereiro - 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA INFESTAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS"

ALUNO: ANDRE SALVADOR

ORIENTADOR: PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

PROF. DR. EDIVALDO DOMINGUES VELINI

PROF. DR. PEDRO JACOB CHRISTOFFOLETI

Data da Realização: 04 de fevereiro de 2002.

DEDICO

À minha mãe Cleonira Furlan

pelo amor, carinho e dedicação aos filhos.

A DEUS

pela vida, saúde e sabedoria.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- A DEUS.
- Ao Professor Ulisses Rocha Antuniassi pela orientação, valiosa contribuição à minha formação profissional, incentivo e amizade.
- À Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu, pela formação de Engenheiro Agrônomo e oportunidade de realização deste trabalho.
- Ao CNPq pela bolsa de estudos concedida.
- Aos membros da banca examinadora, Professores Edivaldo Domingues Velini e Pedro Jacob Christoffoleti, pelas inúmeras contribuições.
- Aos Professores Affonso Maria de Carvalho e Sílvio José Bicudo, aos técnicos agrícolas Mário de Oliveira Munhoz e Marcos José Gonçalves, aos engenheiros agrônomos residentes Rodrigo Domingues Barbosa e André Castilho Orsi, e a todos os funcionários da Fazenda Experimental Lageado, pela amizade e colaboração nas atividades de campo.
- Ao Professor Kléber Pereira Lanças, pela orientação pessoal e profissional.
- Ao Professor Dinival Martins pela concessão de uso de seu GPS.
- A todos os funcionários da Embrapa Soja e Departamento de Cartografia da Unesp de Presidente Prudente, participantes do Projeto Agricultura de Precisão, pelo auxílio nas atividades desenvolvidas.
- Ao Grupo de Plantio Direto da FCA, pelos bons momentos na pesquisa e extensão.
- A todos os funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas, pelo convívio harmonioso e amizade demonstrada em todas as fases de minha formação.
- Ao amigo João Batista Tolentino Rodrigues, sua esposa Márcia e filhos, pelo exemplo de vida, dedicação, humildade, honestidade e por sua presença e auxílio em todos os momentos da realização deste trabalho.
- Aos colegas de pós-graduação, em especial a Carolina, Wellington, Moizéis e Mariela, pelo companheirismo.
- A todas pessoas que colaboraram para a elaboração deste trabalho.
- Aos meus pais e irmãos, por serem meus amigos.
- À Mariana Figueiredo Bergamo de Oliveira e sua família, pelo amor e carinho.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE QUADROS..... VIII
LISTA DE FIGURAS..... IX
1 RESUMO..... 1
2 SUMMARY..... 3
3 INTRODUÇÃO..... 5
4 REVISÃO DE LITERATURA..... 7
4.1 Interferência de plantas daninhas..... 7
4.1.1 Espécies de plantas daninhas..... 7
4.1.2 Densidade populacional de plantas daninhas..... 8
4.1.3 Distribuição espacial de plantas daninhas..... 9
4.2 Agricultura de precisão..... 10
4.3 Aplicação localizada de defensivos..... 12
4.4 Sistemas de posicionamento global..... 13
4.5 Sistemas de informação geográfica..... 14
4.6 Geoestatística..... 15
4.7 Mapeamento de plantas daninhas..... 16
4.7.1 Mapeamento pelo caminhamento em grade de amostragem..... 16
4.7.2 Mapeamento pelo caminhamento no contorno das manchas..... 19
4.7.3 Mapeamento pelo deslocamento de um veículo no campo..... 21
4.7.4 Mapeamento pelo deslocamento da colhedora no campo..... 22
4.7.5 Mapeamento pela análise de imagens obtidas próximas ao solo..... 23
4.7.6 Mapeamento pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude..... 24
5 MATERIAL E MÉTODOS..... 28
5.1 Material..... 28
5.1.1 Área experimental..... 28
5.1.2 Solo..... 29
5.1.3 Dados climatológicos..... 29
5.1.4 Insumos..... 29

5.1.4.1 Sementes..... 29
5.1.4.2 Fertilizantes..... 29
5.1.4.3 Defensivos..... 31
5.1.5 Máquinas e implementos agrícolas..... 31
5.1.5.1 Máquinas..... 31
5.1.5.2 Implementos..... 32
5.1.6 Sistemas de posicionamento global..... 32
5.1.7 Sistema de informação geográfica..... 33
5.1.8 Avião e equipamentos para obtenção das imagens..... 33
5.1.9 Programas computacionais..... 34
5.1.10 Outros materiais..... 34
5.2 Métodos..... 35
5.2.1 Seqüência de operações..... 35
5.2.2 Determinação das coordenadas do perímetro da área..... 36
5.2.3 Determinação das coordenadas do ponto central das grades de amostragem... 36
5.2.4 Determinação da acurácia do GPS de navegação..... 36
5.2.5 Identificação das plantas daninhas da área..... 37
5.2.6 Mapeamento de plantas daninhas..... 37
5.2.6.1 Mapeamento pelo caminhamento em grade de amostragem..... 38
5.2.6.2 Mapeamento pelo caminhamento no contorno das manchas..... 39
5.2.6.3 Mapeamento pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude... 40
5.2.6.4 Mapeamento pelo deslocamento da colhedora no campo..... 41
5.2.7 Geoestatística na elaboração dos mapas..... 42
5.2.8 Parâmetros de avaliação..... 43
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 44
6.1 Coordenadas do perímetro da área..... 44
6.2 Coordenadas do ponto central das grades de amostragem..... 44
6.3 Acurácia do GPS de navegação..... 44
6.4 Plantas daninhas da área..... 49
6.5 Mapas obtidos antes do manejo da vegetação para a semeadura de milho..... 50

6.5.1 Mapas gerados pelo caminhamento em grade de amostragem..... 51
6.5.2 Mapas gerados pelo caminhamento no contorno das manchas..... 56
6.5.3 Mapas gerados pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude..... 59
6.6 Mapas obtidos após a semeadura de milho..... 62
6.6.1 Mapas gerados pelo caminhamento em grade de amostragem..... 62
6.6.2 Mapas gerados pelo caminhamento no contorno das manchas..... 71
6.6.3 Mapas gerados pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude..... 73
6.7 Mapas obtidos antes e durante a colheita de milho..... 74
6.7.1 Mapas gerados pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude..... 74
6.7.2 Mapas gerados pelo deslocamento da colhedora no campo..... 78
6.8 Mapas obtidos após a colheita de milho..... 79
6.8.1 Mapas gerados pelo caminhamento em grade de amostragem..... 79
6.8.2 Mapas gerados pelo caminhamento no contorno das manchas..... 86
6.8.3 Mapas gerados pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude..... 87
6.9 Análise geral das metodologias de mapeamento nas épocas de avaliação..... 88
6.10 Aplicação prática das metodologias de mapeamento em situação real de uma área de produção..... 90
6.11 Análise da evolução da infestação de monocotiledôneas ao longo do ciclo da cultura..... 92
7 CONCLUSÕES..... 95
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 96

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Resultados das análises químicas do solo a profundidade de 0-20cm antes da instalação do experimento.....	30
2	Precipitação pluvial acumulada por quinzena e totais mensais, umidades relativas médias do ar e temperatura média do ar entre os meses de junho de 2000 e maio de 2001.....	30
3	Coordenadas geográficas de 25 pontos obtidas com os receptores DGPS e GPS e erros de posicionamento das coordenadas do GPS em relação as do DGPS.....	47
4	Principais espécies de plantas daninhas identificadas na área experimental em setembro de 2000, agrupadas nas classes de mono e dicotiledôneas, com nomes científicos e comuns.....	49
5	Valores resultantes do teste de Shapiro Wilk aplicado aos valores de porcentagem de cobertura de mono e dicotiledôneas obtidos após a semeadura de milho (20/12/2000).....	66
6	Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os valores de porcentagem de cobertura de mono e dicotiledôneas obtidos após a semeadura de milho (20/12/2000).....	69
7	Valores resultantes do teste de Shapiro Wilk aplicado aos valores de porcentagem de cobertura de mono e dicotiledôneas obtidos após a colheita de milho (30/05/2001).....	84
8	Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os valores de porcentagem de cobertura de mono e dicotiledôneas obtidos após a colheita de milho (30/05/2001).....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Coordenadas dos pontos do perímetro da área experimental determinadas pelo DGPS em setembro de 2000.....	45
2	Coordenadas da linha de perímetro da área experimental criada pela união dos pontos do perímetro.....	45
3	Coordenadas do ponto central das grades de amostragem determinadas pelo DGPS em setembro de 2000.....	46
4	Coordenadas dos pontos obtidos pelo receptor GPS sobrepostos aos pontos determinados pelo receptor DGPS.....	46
5	Vista da vegetação espontânea na área no momento da realização dos mapeamentos feitos antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).....	50
6	Mapa das áreas de presença e ausência de apaga-fogo (*Alternanthera tenella*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).....	52
7	Mapa das áreas de presença e ausência de nabiça (*Raphanus raphanistrum*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).....	52
8	Mapa das áreas de presença e ausência de rubim (*Leonurus sibiricus*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).....	53
9	Mapa das áreas de presença e ausência de mamona (*Ricinus communis*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).....	53
10	Mapa das áreas de presença e ausência de dicotiledôneas obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).....	54
11	Mapa das áreas de presença e ausência de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).....	54

12 Mapa das áreas de presença e ausência de sorgo-selvagem (*Sorghum arundinaceum*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000)..... 55
13 Mapa das áreas de presença e ausência de monocotiledôneas obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000)..... 55
14 Mapa das manchas de mamona (*Ricinus communis*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000)..... 57
15 Mapa das manchas de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000)..... 57
16 Mapa das manchas de sorgo-selvagem (*Sorghum arundinaceum*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000)..... 58
17 Mapa das manchas de monocotiledôneas obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000)..... 58
18 Imagem digitalizada de vídeo obtida antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000)..... 60
19 Imagem digitalizada de fotografia obtida antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000)..... 60
20 Visualização após o processamento para separação da infestação na imagem digitalizada de fotografia obtida antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000)..... 61
21 Mapa das áreas de presença e ausência de dicotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 63
22 Mapa das áreas de presença e ausência de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 63
23 Mapa das áreas de presença e ausência de monocotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 64
24 Mapa das porcentagens de cobertura de dicotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 65
25 Mapa das classes de porcentagem de cobertura de dicotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 65

26 Mapa das porcentagens de cobertura de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 67
27 Mapa das classes de porcentagem de cobertura de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 67
28 Mapa das porcentagens de cobertura de monocotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 68
29 Mapa das classes de porcentagem de cobertura de monocotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 68
30 Semivariogramas ajustados para os valores de porcentagem de cobertura de mono e dicotiledôneas obtidos após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 69
31 Mapa da interpolação por krigagem das porcentagens de cobertura de dicotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 70
32 Mapa da interpolação por krigagem das porcentagens de cobertura de monocotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 70
33 Mapa das manchas de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 72
34 Mapa das manchas de monocotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 72
35 Imagem digitalizada de fotografia obtida após a semeadura de milho (20/12/2000)..... 73
36 Imagem digitalizada de fotografia obtida antes da colheita de milho (10/05/2001)..... 75
37 Visualização de pontos de coordenadas conhecidas na imagem digitalizada de fotografia obtida antes da colheita de milho (10/05/2001)..... 75
38 Visualização das manchas após o processamento para separação da infestação da imagem digitalizada de fotografia obtida antes da colheita de milho (10/05/2001).... 76
39 Visualização do contorno das manchas após o processamento para separação da infestação da imagem digitalizada de fotografia obtida antes da colheita de milho (10/05/2001)..... 76

40 Visualização dos polígonos das manchas após o processamento para separação da infestação a partir da imagem digitalizada de fotografia obtida antes da colheita de milho (10/05/2001)..... 77
41 Mapa das manchas de monocotiledôneas pela análise de imagem aérea obtida antes da colheita de milho (10/05/2001)..... 77
42 Mapa corrompido das linhas com monocotiledôneas obtido durante a colheita de milho (18/05/2001)..... 78
43 Mapa das áreas de presença e ausência de dicotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001)..... 79
44 Mapa das áreas de presença e ausência de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido após a colheita de milho (30/05/2001)..... 80
45 Mapa das áreas de presença e ausência de monocotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001)..... 80
46 Mapa das classes de porcentagem de cobertura de dicotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001)..... 82
47 Mapa da interpolação por krigagem das porcentagens de cobertura de dicotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001)..... 82
48 Mapa das classes de porcentagem de cobertura de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido após a colheita de milho (30/05/2001)..... 83
49 Mapa das classes de porcentagem de cobertura de monocotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001)..... 83
50 Mapa da interpolação por krigagem das porcentagens de cobertura de monocotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001)..... 84
51 Semivariogramas ajustados para os valores de porcentagem de cobertura de mono e dicotiledôneas obtidos após a colheita de milho (30/05/2001)..... 85
52 Mapa das manchas de monocotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001)..... 86
53 Imagem digitalizada de fotografia obtida após a colheita de milho (30/05/2001)..... 87

54 Mapas das áreas de infestação de monocotiledôneas nas diferentes épocas de avaliação, obtidos por diferentes metodologias: (a) antes da semeadura (presença e ausência amostradas em grade), (b) após a semeadura (contorno das manchas), (c) antes da colheita (análise de imagem aérea) e (d) após a colheita (krigagem das porcentagens de cobertura amostradas em grade)..... 93

55 Mapas das áreas de infestação de monocotiledôneas presente durante todo o ciclo da cultura de milho, obtido pela sobreposição dos mapeamentos nas diferentes épocas..... 94

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - FCA
UNESP - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Salvador, André, 1976-
S182c Comparação de métodos de mapeamento da distribuição espacial da infestação de plantas daninhas / André Salvador. –- Botucatu, [s.n.], 2002
x, 109 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) -- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas
Orientador: Ulisses Rocha Antuniassi
Inclui bibliografia

1. Agricultura de precisão 2. Pesticidas – Aplicação 3. Erva daninha 4. Vegetação – Mapeamento I. Antuniassi, Ulisses Rocha II. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas III. Título

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Aplicação localizada de defensivos; Mapeamento de plantas daninhas

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA INFESTAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS. Botucatu, 2002. 109p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: ANDRÉ SALVADOR

Orientador: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

1 RESUMO

A sociedade como um todo tem se preocupado com a contaminação do ambiente causada pelo uso de produtos químicos e muitas tentativas tem sido feitas para que se reduza a quantidade de herbicidas utilizada no controle de plantas daninhas. Há anos os produtores tem observado uma tendência de formação de manchas por várias espécies de plantas daninhas. A aplicação localizada é uma técnica que permite a variação da dose dos herbicidas de acordo com a variabilidade espacial dos alvos no campo. Dependendo do sistema adotado, mapas com a localização e características das plantas daninhas infestantes em um campo podem ser utilizados em aplicações localizadas de herbicidas. O objetivo deste trabalho foi comparar diferentes metodologias de mapeamento da distribuição espacial da infestação de plantas daninhas numa área de 3,9ha com milho em plantio direto sobre vegetação espontânea: mapeamento pelo caminhamento em grade de amostragem, mapeamento pelo caminhamento no contorno das manchas, mapeamento pelo deslocamento da colhedora no campo e mapeamento pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude de vôo. Para tanto foi utilizado um GPS de navegação para georreferenciar o perímetro das manchas localizadas na área. Uma grade de amostragem de 20x20m foi determinada com o uso de um DGPS, sendo amostradas a presença e porcentagem de cobertura em cada grade. A posição das plantas daninhas observadas durante a colheita foi georreferenciada com um DGPS conforme a plataforma da colhedora entrava ou saía de uma área de infestação. Diferentes tipos de câmeras foram utilizadas na obtenção das imagens da

área sobrevoada por uma aeronave a uma altura de 300 a 500 m do solo. Marcas de referência foram colocas em 20 dos 101 pontos de coordenadas conhecidas que formavam a grade de amostragem para permitir o georreferenciamento das imagens. Os mapas com a presença e posição das plantas daninhas foram criados com a utilização do programa Idrisi (Sistema de Informação Geográfica). Os resultados permitiram concluir que o mapeamento pelo caminhamento em grades de amostragem foi eficiente na identificação da variabilidade espacial das plantas daninhas, sendo que através da porcentagem de cobertura foi possível observar a variabilidade da distribuição de dicotiledôneas mesmo com infestação em 100% da área. O mapeamento pelo caminhamento no contorno das manchas foi viável para mapear plantas perenes, principalmente monocotiledôneas. Com a utilização da análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude de vôo foi possível mapear as plantas daninhas presentes na área no final do ciclo da cultura, imediatamente antes da colheita. O processamento de mapas obtidos nas diferentes etapas de avaliação mostrou que a infestação de monocotiledônes permaneceu no mesmo local, ao longo do tempo, em 15 % da área experimental.

Palavras chave: agricultura de precisão, aplicação localizada de defensivos, mapeamento de plantas daninhas.

METHODS FOR MAPPING THE SPATIAL DISTRIBUTION OF WEEDS. Botucatu, 2002. 109p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANDRÉ SALVADOR

Adviser: ULISSES ROCHA ANTUNIASSI

2 SUMMARY

Society has been concerned with the environmental contamination caused by chemicals and attempts have been made to reduce herbicide weed control. Farmers have experienced for years that there is a tendency of a range of weed species to occur in patches. Patch spraying is a technique to minimize inputs of herbicides by applying it according to the weed patch position. Maps showing location and characteristics of weed infestation across the field can be used for patch spraying. Four different approaches for collecting georeferenced weed information to create weed maps were studied along the cycle of a corn crop in a no-tillage field of 3.9ha: manual surveying by field walking in sample grids, manual surveying by field walking at patch perimeters, manual surveying from the combine during the harvest and the use of low altitude aerial image analysis. The weed patches perimeter were georeferenced by walking with a GPS. A regular 20x20m grid sampling was established in the field with a DGPS and weed presence and percentage of coverage were determined at every grid point. Weed patches at the harvest time were georeferenced from the combine using a DGPS to record the patch position as the combine header passed through the patches. Different cameras were used to obtain images from an airplane flying 300 to 500 m above the ground level. Visible objects were placed at 20 of the 101 DGPS georeferenced grid points for afterwards image analysis using a Geographical Information System. Maps of weeds presence and position were generated with Idrisi32. The results showed that sampling percentage of coverage at grid was efficient to describe the

spatial distribution of broadleaf weeds, even when it was present all over the area. The perimeter survey result to be an efficient method to map perennial weeds, mainly grass weeds. Digitalized images obtained from standard aerial photographs gave good information for mapping weed patches, which were better defined by the end of the crop cycle, before harvesting. Overlapping the weed maps generated by different surveyed methods showed an area of common grass infestation of 15% of the field along the crop cycle.

Keywords: precision agriculture, patch spraying, weed mapping.

3 INTRODUÇÃO

As plantas daninhas competem com as culturas comerciais por nutrientes, água, luz, causando enormes prejuízos aos agricultores, tais como queda na produção, dificuldades na colheita, redução da qualidade dos grãos colhidos e até mesmo perda total da safra, sendo o seu controle um dos componentes de produção de maior custo para o agricultor.

Com a evolução dos herbicidas e com o aumento de sua oferta o controle químico de plantas daninhas passou a ser muito utilizado. Outros fatores que colaboraram para este fato foram: o aumento das áreas de produção, que resultou na necessidade de controle em um reduzido intervalo de tempo; o aumento do custo da mão de obra utilizada no controle mecânico e a adoção do sistema de plantio direto na palha, o qual utiliza intensivamente o controle químico de plantas daninhas.

Apesar da importância dos herbicidas, a minimização e otimização do seu uso vêm sendo impulsionada pela necessidade de redução de custos por parte dos produtores e pela pressão da sociedade por um menor impacto ambiental da atividade agrícola. Com isso, muitas propostas surgiram, entre várias já conhecidas: controle mecânico, rotação de práticas de controle, formulações menos tóxicas, redução na dosagem e aplicação localizada de defensivos.

O controle das plantas daninhas é realizado em função da espécie predominante, da densidade populacional e da sua distribuição na área. Estas características

são peculiares, variando entre áreas e também dentro das áreas, sendo notada uma tendência marcante de ocorrência de plantas daninhas com distribuição em manchas, ou seja, partes da área encontram-se infestadas enquanto outras partes estão livres de plantas daninhas.

A aplicação localizada de insumos é uma das etapas da agricultura de precisão, predefinida pelo mapeamento detalhado ou gerenciamento localizado de fatores de produção.

A aplicação localizada de defensivos se justifica pela distribuição em manchas de plantas daninhas encontradas em muitas áreas, sendo uma maneira de reduzir o impacto ambiental da aplicação dos herbicidas onde não há alvos e os custos de uma aplicação uniforme, que faz cair a margem de lucro dos produtores.

A identificação das plantas daninhas e sua localização na área são necessárias para a realização da aplicação localizada, bem como a existência de um equipamento de pulverização capaz de aplicar um defensivo no local desejado. Esta aplicação pode ser realizada em tempo real ou de acordo com um mapa de tratamento. Em tempo real, um sensor acoplado ao pulverizador reconhece as plantas alvos mandando um sinal a um computador que interpreta os dados e comanda a aplicação do defensivo. Para a aplicação baseada em um mapa georreferenciado com informações sobre as áreas de infestação utiliza-se um pulverizador com um sistema de posicionamento via satélite para indicar a sua posição no campo, permitindo que um computador controle a aplicação do defensivo conforme o equipamento se desloca no campo, alterando a dose em locais predeterminados no mapa.

Os mapas de tratamento digitalizados contendo informações sobre a localização das áreas de infestação de plantas daninhas podem ser produzidos por levantamentos realizados de diversas maneiras.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar diferentes métodos de mapeamento da distribuição espacial da infestação de plantas daninhas, através da comparação entre quatro métodos de mapeamento realizados em quatro épocas em uma cultura de milho em plantio direto sobre vegetação espontânea, visando a localização de áreas de interesse de controle de plantas daninhas.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Interferência de plantas daninhas

A interferência das plantas daninhas nas culturas causam, no mundo, prejuízos da ordem de 30 a 40% (Lorenzi, citado por Bianchi, 1998), sendo este prejuízo calculado em 21% de todos os custos variáveis para a cultura de milho e 22% para soja (Adegas, 1997). As perdas ocasionadas às culturas se devem à redução no rendimento de grãos, podendo alcançar até 83% (Fancelli & Dourado Neto, 2000), à redução na qualidade do produto colhido (Davies et al., 1997) e à menor eficiência na operação de colheita.

O grau de interferência das plantas daninhas nas culturas depende da comunidade vegetal infestante (espécie, densidade populacional e distribuição), da cultura (cultivar, espaçamento, densidade, estádio fenológico), do ambiente (tipo de solo, clima e manejo) e do período de convivência (Pitelli, citado por Bianchi, 1998; Fancelli & Dourado Neto, 2000).

4.1.1 Espécies de plantas daninhas

Segundo Melhoraça et al. (1998), as espécies de plantas daninhas mais prejudiciais no sistema de plantio direto são aquelas que apresentam maior resistência ao controle dos herbicidas, especialmente aos dessecantes, ou para as quais existem poucos

herbicidas de controle efetivo, considerando que a dependência do controle químico é maior neste sistema (entre as plantas daninhas perenes e de reprodução vegetativa citam a grama-seda (*Cynodon dactylon*), o capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e o capim-massambará (*Sorghum halepense*); dentre outras plantas daninhas prejudiciais destacam-se a buva (*Conyza bonariensise* e *Conyza canadensis*), trapoeraba (*Commelina benghalensis*), erva-de-santa-luzia (*Chamaesyce hirta*), guanxuma (*Sida obtusifolia*), erva-de-touro (*Tridax procumbens*), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), erva-quente (*Spermacoce latifolia*) e poaia-branca (*Richardia brasiliensis*)).

Entre as 15 principais espécies de plantas daninhas presentes em 58 áreas do Paraná, segundo Adegas (1998), 11 foram latifoliadas e apenas 4 foram gramíneas, sendo elas: leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) em 86% das propriedades, picão-preto (*Bidens spp*.) em 79%, capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*) em 67%, trapoeraba (*Commelina benghalensis*) em 67%, guanxuma (*Sida spp*) em 46%, capim-colchão (*Digitaria horizontalis*) em 41%, corda-de-viola (*Ipomoea spp*) em 36%, nabo (*Raphanus raphanistrum*) em 24%, carrapicho-de-carneiro (*Acanthospermum hispidum*) em 19%, caruru (*Amaranthus spp*) em 15%, capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*) em 14%, erva-quente (*Spermacoce latifolia*) em 14%, maria-pretinha (*Solanum americanum*) em 12%, quebra pedra (*Phyllanthus tenellus*) em 10% e carrapicho-beiço-de-boi (*Desmodium tortuosum*) em 7%.

4.1.2 Densidade populacional de plantas daninhas

A densidade populacional de plantas daninhas é calculada por sua quantidade dividida por unidade de área. Conforme aumenta a densidade, o ganho no rendimento da cultura com controle químico das plantas daninhas se torna maior que o custo dos herbicidas utilizados no seu controle, sendo esta a definição do nível econômico de controle para uma única espécie de planta daninha (Thornton et al., 1990), ou seja, densidade limiar (plantas.m^{-2}) é igual ao custo do controle por hectare ($.$ha^{-1}$) dividido pelo resultado da multiplicação dos seguintes fatores: (i) preço recebido por tonelada de grãos colhidos ($.$ton^{-1}$); (ii) coeficiente de danos, em rendimento por hectare perdido com aumento da densidade de plantas daninhas ((ton.ha^{-1}).(plantas.m^{-2})$^{-1}$) e (iii) pela redução proporcional de sua densidade populacional com aplicação de herbicidas (%).

Nordmeyer et al. (1997) consideraram as densidades de 20 plantas.m^{-2} de monocotiledôneas e 40 plantas.m^{-2} de dicotiledôneas como sendo o nível econômico a partir do qual realizaram o controle químicos dessas plantas. Zanin et al. (1993) estimaram o nível econômico de controle para algumas espécies de plantas daninhas, recomendando densidades que variaram entre 2 a 40 plantas.m^{-2}. Outras maneiras de se prever perdas no rendimento das culturas causadas por uma mistura de populações de plantas daninhas é adotando-se uma densidade equivalente, valor de referência a uma quantidade de rendimento perdido (Berti & Zanin, 1994), ou convertendo as unidades de cada espécie de planta daninha em um padrão de competitividade (Black & Dyson, 1993).

4.1.3 Distribuição espacial de plantas daninhas

As plantas daninhas numa área não se distribuem uniformemente e sim em manchas ou reboleiras. Trabalhos de campo têm mostrado que há uma tendência marcante de agregação em um mesmo local para muitas espécies de plantas daninhas, apresentando formação de manchas (Marshall, 1988; Wiles et al., 1992; Cardina et al., 1995; Cousens & Woolcock, 1997; Perry, 1997; Wallinga & Kropff, 1997; Cardina & Doohan, 1999).

Nordmeyer et al. (1997) avaliaram a distribuição das plantas daninhas em três campos experimentais na Alemanha e geraram mapas de aplicação de herbicidas para os locais onde a densidade de plantas eram superiores ao nível econômico de controle, concluindo que as áreas com plantas daninhas eram de aproximadamente 60, 70 e 21% para as três áreas, sendo a distribuição de monocotiledôneas mais irregular que a de dicotiledôneas, que apresentaram-se menos heterogêneas em uma das áreas. Levantamentos tem demonstrado que as manchas de plantas daninhas podem cobrir de pequenas porções até 70% da área (Thompson et al., 1991; Johnson et al., 1995; Nordmeyer et al., 1997; Rew et al., 1996).

Wilson & Brain, citados por Stafford & Miller (1996), monitorando o padrão de agregação em manchas e a estabilidade da distribuição de uma monocotiledônea, concluíram que a distribuição espacial das plantas daninhas pode ser permanente com o passar de muitos anos, porém a sua densidade varia. Este fato é explicado por Cardina & Doohan (1999) por uma tendência de expansão com elevada produção de sementes seguida de contração com baixa produção de sementes com o passar das estações do ano.

As plantas daninhas ocorrem em manchas em função de fatores relacionados às sementes, como os mecanismos de dispersão (Ghersa et al., 1993; Griepentrog, 1998), sobrevivência, emergência e dormência (Karssen & Derkx, 1988), reprodução (Heimann & Cussans, 1996), banco de sementes (Cardina & Sparrow, 1996; Grundy, 1997; Zhang & Hamill, 1998), bem como fatores relacionados às propriedades do solo (Andreasen & Streibig, 1991; Nordmeyer & Dunker, 1999).

Cardina et al. (1997) descrevem as relações entre o padrão de distribuição das plantas daninhas em manchas com a amostragem, predição e manejo das populações infestantes, fatores estes estudados em diversos modelos de simulação (Van Groenendael, 1988; Wiles et al., 1993; Johnson et al., 1995; Lucke et al., 1995; Berti & Sattin, 1996; Rew et al., 1996; Black & Dyson, 1997; Paice et al., 1998; Roman, 1998; Zanin et al., 1998; Forcella, 1999).

Com a agricultura de precisão os produtores podem ser beneficiados pelo fato das plantas daninhas serem agrupadas em manchas, considerando-se a economia de esforços e agroquímicos, os quais podem vir a ser aplicados somente onde estas manchas estiverem presentes (Cardina & Doohan, 1999).

4.2 Agricultura de precisão

A agricultura é uma atividade transformadora de insumos e energia em alimentos. Em função da crescente demanda mundial por alimentos está ocorrendo uma evolução natural no meio rural, que passa agora a ser mais empresarial que de subsistência, adotando novos métodos administrativos e gerenciais para a tomada de decisão baseados na informatização da atividade de produção.

A agricultura de precisão vem a ser um conjunto de ferramentas no auxílio do gerenciamento das atividades agrícolas. Tal conceito se fundamenta no princípio da desuniformidade de fatores como o solo e a cultura, permitindo o tratamento individualizado de pequenas áreas dentro do campo de produção. Seus objetivos são a otimização do retorno financeiro pela racionalização do uso de insumos e energia e a redução dos impactos ambientais (Mantovani et al., 1998).

Do ponto de vista econômico, para haver retorno financeiro não significa necessariamente obtenção de máxima produtividade (Mantovani et al., 1998), mas sim redução do custo do produto final, obtido de duas formas (Balastreire, 1999): (i) pela realocação dos insumos de pontos de baixo potencial de produção para outros com maior potencial, para aumento da produtividade da área considerada sem aumento da quantidade de insumos; (ii) pela redução da quantidade de insumos de pontos de baixo potencial e transferencia de parte desta redução para os pontos de alto potencial, para redução da quantidade total de insumos sem aumento da produtividade da área considerada.

Do ponto de vista ambiental, os benefícios podem ser contabilizados pela redução na quantidade de insumos (como o nitrogênio, por exemplo), desperdiçados em áreas de baixa necessidade (Hayes & Privette III, 1997; Thrikawala et al., 1998; Balastreire, 1999), sendo possível economizar cerca de 50% de defensivos em aplicações localizadas (Ahrens, 1994; Engqvist et al., 1997; Long & Seltmann, 1997; Tian et al., 1999).

Os conceitos de Agricultura de Precisão não são tão recentes. Balastreire (1999) cita a primeira iniciativa de gerenciamento localizado que ocorreu em 1929 com a observação da variação da necessidade de calcário em um mesmo talhão. Ainda pode-se considerar que o tratamento localizado tem sido praticado de forma empírica por pequenos agricultores com conhecimento intrínseco e intimidade com as condições de cada pequeno pedaço de sua lavoura (Molin, 1997a).

Antuniassi & Gadanha Júnior (2000) descrevem os princípios básicos da agricultura de precisão como sendo o mapeamento detalhado dos fatores de produção, os sistemas de suporte à decisão e a aplicação localizada de insumos.

Scheller, citado por Molin (1997b) aponta algumas áreas de maior potencial para o controle de aplicação variada, onde há elevada concentração de esforços em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia:

a) aplicação localizada de fertilizantes e corretivos;

b) aplicação localizada de defensivos;

c) semeadura controlada visando variação da população, profundidade de semeadura e localização de cultivares;

d) controle localizado da intensidade de preparo do solo.

4.3 Aplicação localizada de defensivos

Com o conhecimento prévio detalhado sobre onde e quais espécies de plantas daninhas ocorrem na propriedade é possível planejar e definir antecipadamente, sob o ponto de vista técnico e econômico, quais os herbicidas ou misturas de herbicidas, doses, épocas de aplicação ou equipamentos a serem utilizados (Melhorança et al., 1998).

Há uma forte tendência à aplicação de agroquímicos em doses variáveis correspondentes à necessidade de alvos localizados no campo, em função da redução dos impactos ambientais causados pela aplicação de produtos onde não há alvos e dos custos de uma aplicação uniforme que reduz a margem de lucro dos produtores (Stafford, 1993).

A aplicação localizada de herbicidas em manchas de plantas daninhas pode ser realizada de duas maneiras (Miller & Paice, 1998; Antuniassi, 2000):

1) aplicação instantânea ou em tempo real - a detecção das plantas daninhas (feita através de sensores ou análise de imagens) e a aplicação de herbicida sobre as áreas desejadas (com presença de plantas daninhas) são realizadas em uma única operação, conforme o equipamento se desloca sobre o campo;

2) aplicação com uso de mapas - a identificação e posição das plantas daninhas é levantada para elaboração de um mapa em uma primeira operação e a aplicação de herbicida sobre a área de interesse é realizada de acordo com os mapas gerados em uma segunda operação.

Antuniassi (2000) descreve duas possibilidades de detecção instantânea de plantas daninhas. A primeira utiliza sensores óticos que identificam as diferenças na reflexão da luz pelas diversas superfícies encontradas na área (plantas daninhas, cultura, restos vegetais, solo). A necessidade de calibração constante desses sensores em função da variação das características da superfície de aplicação, fatores como altura e posicionamento dos sensores em relação aos alvos, variação na intensidade de luz, desenvolvimento e sobreposição da cultura e plantas daninhas, e o tempo de resposta do sistema tornam sua utilização bastante complexa, dificultando a viabilização comercial dessa tecnologia, a qual tem sido desenvolvida e pesquisada por muitos autores (Haggar et al., 1983; Huete, 1985; Shearer & Jones, 1991; Felton & McCloy, 1992; Hanks, 1996; Biller et al., 1997; Vrindts & De Baerdemaeker, 1997; Blackshaw, 1998; Hummel & Yu, 1999; Zwiggelaar,

1998). A segunda utiliza a análise instantânea de imagens, como as de uma câmera de vídeo, que podem ser processadas para possibilitar a identificação das plantas daninhas.

O uso conjunto de um mapa de tratamento digitalizado contendo informações sobre a localização das manchas de plantas daninhas, de um equipamento de pulverização capaz de aplicar doses variáveis e de um GPS para indicar a posição do pulverizador no campo são capazes de reduzir o uso de herbicidas de 30 a 50% (Stafford, 1993), o que também ocorre com o uso de equipamentos para aplicação instantânea de herbicidas (Biller, 1998; Blackshaw et al., 1998).

Cabe lembrar que a aplicação localizada de herbicidas, como a de qualquer outro insumo, somente é válida quando existe variabilidade espacial do atributo estudado (no caso, plantas daninhas). Nordmeyer et al. (1997), mapeando uma área com a presença de plantas daninhas do tipo mono e dicotiledôneas, observaram que a baixa heterogeneidade espacial das dicotiledôneas concomitante à sua alta densidade populacional não justificaram a aplicação localizada de herbicida e sim uma aplicação uniforme em área total. Porém, as monocotiledôneas mostraram-se distribuídas de forma muito mais irregular, podendo ser recomendada a aplicação localizada de herbicida para o seu controle quando este for realizado separadamente do controle das dicotiledôneas.

4.4 Sistemas de posicionamento global

Segundo Antuniassi (2000), a viabilização da aplicação localizada de herbicidas através de mapas de tratamento depende da possibilidade do conhecimento da posição exata do alvo a ser atingido e do próprio equipamento de aplicação durante o deslocamento no campo. A tecnologia mais empregada atualmente para a determinação destas localizações utiliza o Sistema de Posicionamento Global ou GPS, sendo, segundo Molin (1997b), o sistema mais adequado de posicionamento para aplicações agrícolas.

O princípio de funcionamento considera a medição do tempo de deslocamento de um sinal entre um satélite e um receptor utilizado pelo usuário (Stafford, 1998). Os relógios do satélite e do receptor estão sincronizados sendo possível medir a distância exata entre os dois pontos. A utilização do DGPS - Sistema de Posicionamento Global Diferencial permite fazer com que a precisão chegue a ser menor que 1 metro. De

maneira simplificada, o DGPS utiliza dois receptores atuando em conjunto para melhorar o cálculo da posição.

Stafford (1998) e Lange (1996) apresentam e discutem as aplicações e limitações do Sistema de Posicionamento Global para uso em agricultura de precisão, sendo a resolução do posicionamento requerida dependente da operação a ser realizada, variando de 30m para aplicação de fertilizantes em doses variáveis, 10m para mapeamento da produtividade, 1m para aplicação de herbicidas em doses variáveis, até 0,05m para nivelamento do solo antes do plantio.

Webster & Cardina (1997) mostraram que o uso do GPS é um método válido para se localizar e mensurar o tamanho de manchas de plantas daninhas. Eles observaram que conforme as áreas das manchas de plantas daninhas aumentam em tamanho, da mesma forma a acurácia do GPS aumenta, com um erro de apenas 3 a 6% para uma área de $500m^2$. Stafford & Miller (1996) solucionaram o problema da acurácia com a adição de uma faixa de segurança além do limite das manchas, garantindo a aplicação de herbicidas em toda a mancha.

Segundo Stafford (1998), o erro no posicionamento de receptores GPS era elevado principalmente em função da disponibilidade seletiva (SA-Selective Availability) imposta pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, a qual atuava no sinal dos satélites, ocasionando erros de até 100m que limitavam a resolução desses receptores. Desde a Guerra do Golfo a disponibilidade seletiva esteve operacional, sendo necessário o uso de receptores DGPS para se obter posicionamento adequado para fins de agricultura de precisão. No dia 1^o de maio de 2000 a disponibilidade seletiva foi desligada (Stafford, 2000), tornando possível novamente o uso de receptores GPS sem correção diferencial para posicionamento e mapeamentos em agricultura de precisão.

4.5 Sistemas de informação geográfica

Os Sistemas de Informação Geográfica - SIG (Geographical Information System - GIS) são programas computacionais utilizados para aquisição ou coleta, armazenagem, transformação, análises, interpretação e exibição de dados georreferenciados, ou seja, dados referenciados a uma posição (latitude, longitude e altitude) na superfície

terrestre. Além disso são capazes de possibilitar a digitalização de mapas, processamento de imagens, análises geográficas e estatísticas e exibição cartográfica de mapas (Salvador, 1999).

Com um SIG é possível criar mapas com dados de campo para que o produtor tenha uma visão das condições da área, além de fazer relações entre os atributos e parâmetros observados (Balastreire, 1999). Quantificações de atributos, como o cálculo de distâncias e de áreas a partir de um mapa, são possíveis de serem realizados em um SIG e estas informações podem ser úteis no planejamento do controle de plantas daninhas (Lass & Callihan, 1993).

Muitos programas estão disponíveis no mercado para servir como ferramenta de atividade e uso em sistemas de informações geográficas. Como exemplo pode ser citado o IDRISI, que é um sistema de processamento de imagens e informações geográficas criado pela Clark University, Massachusettes, Estados Unidos (Eastman, 1997), e desenvolvido para fornecer um nível profissional de pesquisa de dados com um baixo custo. Desde sua introdução no mercado, em 1987, o IDRISI vem sendo um dos sistemas de informação geográfica mais utilizados.

4.6 Geoestatística

A geoestatística é uma ferramenta que pode ser usada para averiguar se o atributo em estudo apresenta ou não alguma dependência espacial na distribuição dos seus valores. A distribuição de plantas daninhas dentro de uma área é caracterizada pela tendência de formação de manchas (área contínua ou aglomerado de plantas), o que permite a aplicação da geoestatística para determinar o seu grau de continuidade.

Segundo Vieira (2000), o semivariograma expressa a dependência espacial entre amostras através de um gráfico da semivariância pela distância de separação entre os pontos amostrados, sendo necessário o ajuste desses dados a uma função ou modelo matemático, como por exemplo o modelo esférico, exponencial e gaussiano. Ainda segundo o autor, havendo dependência espacial definida pelo semivariograma, é possível utilizar uma técnica de interpolação chamada krigagem para estimar valores para locais onde não foram realizadas amostras, o que permite a construção de mapas de isovalores de grande utilidade.

4.7 Mapeamento de plantas daninhas

A avaliação da variabilidade ou da distribuição espacial de plantas daninhas é feita por meio de seu mapeamento. Para Lamb & Brown (2001), os mapas contendo o local e a densidade populacional de plantas daninhas permitem monitorar a eficiência de estratégias passadas de controle, averiguar a necessidade de herbicidas, monitorar e entender a dinâmica das populações de plantas daninhas para confirmar a previsão de modelos, e por fim, servir de fonte de dados para a aplicação localizada de herbicidas.

Existem diversas maneiras de se mapear as plantas daninhas presentes em uma área para levantamento de sua posição e características da infestação (Stafford & Miller, 1996; Clay & Johnson, 1999; Lamb & Brown, 2001), entre elas:

(i) levantamento manual pela amostragem em grades ou malha de pontos pelo caminhamento no campo (Nordmeyer et al., 1997; Walter et al., 1997; Zanin et al., 1998);

(ii) levantamento manual pelo caminhamento no contorno das manchas no campo (Stafford et al., 1996; Lippert & Wolak, 1999);

(iii) levantamento manual pelo deslocamento de um veículo no campo (Rew et al., 1996; Green et al., 1997);

(iv) levantamento manual pelo deslocamento da colhedora no campo (Colliver et al., 1996),

(v) levantamento pela análise imagens obtidas próximas ao solo (Brown et al., 1994; Stafford & Benlloch, 1997; Pérez et al., 2000);

(vi) levantamento pela análise de imagens aéreas (Thornton et al.,1990; Stafford & Miller, 1993; Lamb & Weedon, 1998; Lamb et al., 1999; Rew et al., 1999; Schlemmer et al., 1999).

4.7.1 Mapeamento pelo caminhamento em grade de amostragem

Grade de amostragem ou “grid sampling” é o termo utilizado para definir a divisão de uma área experimental em unidades de tamanho conhecido e/ou predeterminado, nas quais serão realizadas amostragens representativas das características das infestações de plantas daninhas.

As plantas daninhas podem ser mapeadas em áreas ou grades de amostragem de tamanho fixo ou variável, regulares ou irregulares, com diferentes graus de detalhamento. O tamanho das grades pode variar desde 2x2m (Zanin et al., 1998), passando por valores como 10x10m (Heisel et al., 1996) e 20x20m (Walter et al., 1997), chegando até a 2000x2000m (Firbank et al., 1998) dependendo do grau de detalhamento adotado.

A divisão da área experimental em uma grade de amostragem pode ser realizada no campo com o uso de equipamentos DGPS, e o local demarcado pela colocação de estacas na área (Schwarz et al., 1999).

Em cada grade podem ser feitas amostragens de características qualitativas e quantitativas das plantas daninhas, tais como identificação das espécies ou grupos de espécies presentes e densidade de plantas (Johnson et al., 1995). A área efetivamente amostrada dentro de cada grade pode ter diversos formatos e tamanhos, como o retângulo de 25x30cm (Zanin et al., 1998) e o círculo de 0,4m^2 (Gerhards et al., 1999). Neste sentido, Velini (1995) definiu critérios para seleção de métodos de amostragem considerando parâmetros relativos a precisão dos levantamentos e variabilidade dos resultados. As informação obtidas em cada área amostral passarão a representar a grade amostral no momento da confecção de mapas de infestação de plantas daninhas.

A utilização de um levantamento em grades de amostragem até a confecção de mapas para a aplicação localizada foram feitas por Nordmeyer et al. (1997), que mapearam a distribuição de plantas daninhas pelo caminhamento no campo com um coletor de dados de mão integrado a um sistema de posicionamento global com correção diferencial em tempo real com acurácia de 1 a 3 metros. Em dois campos experimentais na Alemanha monitoraram a densidade populacional e a cobertura de todas as espécies de plantas daninhas. A densidade foi especificada em plantas por metro quadrado, sendo a contagem feita individualmente para cada espécie de planta daninha em um quadrado amostral de 0,1m^2 por grade de 30x30m. Em um terceiro campo experimental, foram determinadas a posição de manchas de *Cirsium arvense* e a densidade populacional de novas brotações. Com o uso de métodos geoestatísticos foram criados mapas das espécies de daninhas e do total da infestação. Com um sistema de informação geográfica (ARC/INFO) e de um programa para confecção de mapas (SURFER) foram gerados mapas da distribuição das plantas daninhas e dos locais para aplicação de herbicidas, levando em consideração a área total de plantas daninhas com

densidade superior ao nível econômico limite de controle, sendo definido em 20 plantas.m^{-2} para monocotiledôneas, 40 plantas.m^{-2} para dicotiledôneas, 1 planta.m^{-2} para *Cirsium arvense*, 0,2 plantas.m^{-2} para mono e dicotiledôneas de nível de controle econômico extremamente baixo. Os resultados mostraram uma economia de herbicidas da ordem de 40, 30 e 79%, respectivamente para as três áreas, pela utilização dos mapas gerados pelo caminhamento nas grades de amostragem (duas primeiras áreas) e pela determinação das manchas (terceira área). A distribuição de monocotiledôneas foi mais irregular ou em manchas que a de dicotiledôneas, que pela distribuição uniforme e densidade elevada, não justificaram a aplicação localizada de herbicidas.

A identificação e contagem de plantas daninhas normalmente é cara e consome um elevado tempo (Wiles & Schweizer, 1999). Para tentar reduzir o tempo e o esforço gastos na amostragem, Clay & Johnson (1999) propõem quatro maneiras para se obter a presença ou densidade de plantas daninhas e as conseqüências da adoção de cada uma:

(i) quantitativa – todas as espécies tem sua densidade populacional amostradas, sendo assim muito demorado, principalmente quando as plantas daninhas apresentam uma elevada densidade, porém fornece um nível de informação elevado;

(ii) semiquantitativa por espécie – a contagem das plantas daninhas de cada espécie é realizada até um certo número (como o nível econômico de controle), pois a partir desse valor não há relevância do ponto de vista de mato competição e de controle;

(iii) semiquantitativa por grupo de espécies – a contagem das plantas daninhas é feita por grupo de espécies (por exemplo, mono e dicotiledôneas), sendo mais rápido, principalmente em áreas muito infestadas, porém não fornece informação detalhada a respeito das espécies individuais;

(iv) qualitativa – apenas a presença de uma espécie ou de um grupo de espécies é anotada, garantindo uma amostragem rápida da diversidade das espécies de plantas daninhas da área, porém não fornece informação relativa a severidade das infestações.

Outra maneira para tornar a amostragem mais rápida e prática foi descrita por Christensen & Heisel, citados por Christensen et al. (1999), que realizaram a quantificação das plantas daninhas em grades de amostragem pela atribuição de um nota de porcentagem de cobertura de plantas daninhas sobre o terreno.

Marshall (1988) realizou experimento em campo de 11,5ha de trigo para avaliar a intensidade de amostragem necessária para se obter adequada precisão no levantamento. O mapeamento das inflorescências de gramíneas foi realizado pela contagem das mesmas em quadrados de 0,25m^2 de área. Quatro quadrados eram lançados a cada 25 passos (24m), podendo chegar até 100 passos (96m), adjacentes às linhas de tráfego controlado separadas de 12m cada. A contagem dos quatro quadrados eram somadas dando uma contagem por espécie por local amostrado. Dessa forma foram atribuídas diferentes intensidades amostrais com valores de 35, 18, 13, 9, 6, 4, 3 e 2,5 pontos amostrados por hectare. A densidade populacional das inflorescências em cada local amostrado foram interpoladas aritmeticamente e mapas foram construídos mostrando que para se obter estimativas precisas seria necessário uma elevada intensidade amostral, com pelo menos 18 amostras por hectare (o que corresponderia a uma grade de 24x24m). A interpolação utilizada não refletiu acurada distribuição das plantas e foi afetada pela intensidade amostral.

Para Clay & Johnson (1999), o ótimo espaçamento das grades de amostragem é desconhecido e depende de diversos fatores relacionados ao custo e tempo de mapeamento. Num exemplo onde há tempo para realização de amostragem de 100 pontos numa área, os resultados podem ser eficientes para a amostragem de solo, pois suas propriedades variam gradativamente ao longo da área e normalmente ocorrem em grandes blocos; já no caso de plantas daninhas, que apresentam forte tendência de distribuição em manchas, esta amostragem poderia perder manchas inteiras se o tamanho da grade de amostragem fosse muito maior que o tamanho da mancha.

Portanto, o mapeamento pelo caminhamento em grade de amostragem é limitado ao tamanho da área que se deseja mapear (Clay & Johnson, 1999), além de apresentar um elevado custo de amostragem (Colliver et al., 1996; Wiles & Schweizer, 1999) e ser demorado (Colliver et al., 1996; Gerhards et al., 1999).

4.7.2 Mapeamento pelo caminhamento no contorno das manchas

Este é o mapeamento no qual uma pessoa caminha pelo campo localizando visualmente manchas de plantas daninhas e, normalmente com o auxílio de um GPS, realiza o contorno dessas reboleiras para georreferenciar sua posição no campo.

Uma mancha ou reboleira de plantas daninhas pode ser definida como um conjunto de plantas daninhas com presença contínua numa certa área, formando um polígono de limite conhecido.

Stafford et al. (1996) desenvolveram e avaliaram um sistema portátil de mapeamento de manchas de plantas daninhas composto de um microcomputador de mão (palm-top) acoplado a um receptor GPS com correção diferencial que permite acurácia de 1 a 3 metros. Este conjunto é colocado em uma mochila carregada por uma pessoa que caminha pelo campo georreferenciando a posição e registrando as informações sobre as infestações de plantas daninhas nas áreas onde se deseja fazer a aplicação de herbicidas. Na tela do microcomputador são exibidos o mapa da área com o seu perímetro, as manchas de plantas daninhas já registradas e a posição do operador no campo. Ao operador é dada a opção (i) de registrar manchas pelo caminhamento ao redor de seu limite, (ii) de estimar seu tamanho nas formas circular ou retangular, e (iii) de utilizar as linhas de tráfego controlado para atribuir a posição das manchas. Uma vez determinado o perímetro da mancha o programa solicita ao operador que coloque a espécie da planta daninha e a densidade de infestação, definida como baixa, média ou alta. Um banco de dados com as espécies de daninhas é colocado no microcomputador de mão antes do início do mapeamento com o intuito de facilitar a operação no campo, também permitindo que se acrescente novas espécies durante o caminhamento. Posteriormente, as informações são transferidas para um computador e em um sistema de informação geográfica (IDRISI) são armazenadas e manipuladas até a confecção dos mapas.

Lippert & Wolak (1999) utilizaram um GPS Garmin para mapear manchas de *Senna obtusifolia* gravando a posição das coordenadas geográficas a cada 10 metros, conforme caminhavam no perímetro delimitado pela infestação. Esta técnica permite que se realize o mapeamento de manchas de plantas daninhas de maneira estática, ou seja, marcando-se apenas as coordenadas geográficas dos pontos mais externos das manchas que, após o mapeamento com o auxílio de um sistema de informação geográfica, são unidos para geração de polígonos. Segundo Lass & Callihan (1993), em mapeamento do perímetro de uma infestação de plantas daninhas, a acurácia do GPS foi de 2 metros quando a aquisição das coordenadas geográficas era estática (receptor parado), e de 10 metros quando dinâmica (receptor em movimento), cabendo lembrar que maior é a acurácia do GPS quanto maior for a área da mancha de plantas daninhas (Webster & Cardina, 1997).

Para Clay & Johnson (1999), após uma rápida identificação da localização das manchas de plantas daninhas numa área, podem ser determinados tanto a área da mancha pelo caminhamento em seu perímetro quanto o grau de severidade da infestação (por exemplo, a rápida estimativa da densidade populacional de plantas em alta, média e baixa). Com os mapas obtidos podem ser calculadas as áreas ocupadas por todas as manchas ou por manchas individuais, informação esta importante no monitoramento do tamanho das manchas com o passar do tempo ou tomada de decisão de controle em função da área das manchas. Como vantagens este método apresenta: (i) rapidez, (ii) facilidade de implementação, (iii) pouco trabalhoso, (iv) adapta-se melhor a plantas daninhas perenes, e (v) segundo Colliver et al. (1996) é o método que resulta na maior economia de herbicida, (vi) menor custo de controle das plantas daninhas por aplicação localizada, já levando em consideração o custo extra do mapeamento, e (vii) fornece a descrição mais detalhada da localização das manchas (quando comparado aos outros métodos de mapeamento). Como desvantagens os autores, Clay & Johnson (1999), citam: (i) a identificação e contorno de manchas de plantas daninhas anuais pode ser difícil, especialmente se o mapeamento for realizado quando as plantas daninhas forem pequenas, ou ainda, segundo Colliver et al. (1996), quando as plantas estiverem pouco agregadas, (ii) a informação é limitada a localização das manchas, podendo incluir estimativa visual da severidade, (iii) para utilização de estimativa visual da severidade devem ser adotados critérios muito claros na definição dos padrões de densidade (alta, média e baixa) para que o valor da informação não fique limitado ou errôneo.

4.7.3 Mapeamento pelo deslocamento de um veículo no campo

O mapeamento com o auxílio de um veículo que se desloca no campo é uma adaptação dos mapeamentos por caminhamento, tanto em grades de amostragem quanto no contorno das manchas de plantas daninhas, com a vantagem de reduzir o esforço exigido pelo caminhamento manual e de possibilitar a realização do mapeamento em áreas maiores.

Apesar das vantagens, este mapeamento ainda apresenta pontos desvantajosos, tais como o custo implícito pela necessidade de uma operação extra de deslocamento de um veículo para o mapeamento e o custo da amostragem manual realizada.

O mapeamento visual da presença e densidade populacional de *Elymus repens* L. pelo deslocamento de um veículo no campo foi realizado por Rew et al. (1996). Um sistema semi automático foi montado sobre um veículo que se deslocava sobre as linhas de tráfego controlado distanciadas de 12 metros (tamanho da barra de um pulverizador). Dois operadores detectavam visualmente as plantas daninhas e pelo apertar de teclas de um computador portátil gravavam a presença e a densidade populacional de plantas daninhas (baixa e alta) em áreas de $2m^2$ (2x1) de um lado a outro das seções de pulverização. Oito linhas de tráfego controlado foram mapeadas três vezes consecutivas para a realização de comparações da repetibilidade nos dados de presença/ausência (85%), de zero/baixo ou zero/alta densidade (80%) e de baixa/alta densidade (85%).

Green et al. (1997) equiparam um quadricíclo com um DGPS e um computador para mapear a presença e localização de uma planta daninha em uma área de 18 hectares. As áreas com elevada infestação da espécie foram mapeadas pelo contorno do veículo no perímetro das manchas observadas visualmente.

4.7.4 Mapeamento pelo deslocamento da colhedora no campo

O mapeamento de plantas daninhas pode ser realizado aproveitando uma das diversas atividades mecanizadas que ocorrem na propriedade (subsolagem, aplicação de inseticidas, adubação de cobertura, colheita), com a vantagem de reduzir os custos operacionais de uma atividade extra de mapeamento.

Clay & Johnson (1999) descrevem o mapeamento durante a colheita como um método fácil de criação de mapas de plantas daninhas no campo. Simples dispositivos são conectados ao receptor GPS e ao monitor de colheita permitindo que a presença de diferentes plantas daninhas seja mapeada conforme ocorre a colheita da cultura. O operador apenas pressiona um botão no monitor de colheita, indicando a espécie ou grupo de plantas daninhas, conforme a colhedora entra e sai em uma mancha de plantas daninhas. Mapas com a localização em faixas das infestações de plantas daninhas são gerados junto aos mapas de produtividade da cultura.

Colliver et al. (1996) localizaram manchas de *Avena fatua* L. durante o deslocamento da colhedora no campo para colheita de trigo. Com o uso de um equipamento

GPS, a posição geográfica da colhedora era gravada conforme a plataforma entrava em uma mancha da planta daninha. Com o acionar de uma tecla iniciava-se a gravação de uma linha contínua contendo a posição da colhedora onde se encontravam as plantas daninhas. A largura da plataforma multiplicada pelo comprimento da linha com as coordenadas gravadas resultavam na área estimada da infestação. A observação das manchas foi feita pelo operador da colhedora e pelo autor do trabalho.

As vantagens desse mapeamento apresentadas por Clay & Johnson (1999) são: (i) simplicidade, (ii) facilidade de realização junto à operação de colheita, (iii) não requer nenhum tempo extra para realização de mapeamento das plantas daninhas, (iv) o mapa pode ser usado para observar se o controle das plantas daninhas durante o desenvolvimento da cultura foi bem sucedido ou (v) indicar áreas de interesse para o controle de infestação na próxima safra, ou ainda, (vi) no caso de plantas daninhas perenes, servir como base para construção de um mapa de aplicação a ser usado logo após a colheita. Os autores descrevem ainda as seguintes desvantagens desse mapeamento: (i) o mapa criado é um mapa da localização das plantas daninhas que já causaram redução no rendimento da cultura, ou seja, a época de mapeamento não coincide com a época de controle, (ii) muitos mapas apresentam erros de superestimação da área de infestação devido ao fato do operador, pelo excesso de funções, esquecer de desligar a marcação ao sair das infestações, (iii) muitas teclas para diferentes espécies de plantas daninhas geram muita confusão, sendo recomendado apenas três teclas, uma para monocotiledôneas, outra para dicotiledôneas e uma para plantas daninhas perenes, (iv) problemas podem ocorrer no início e no fim das ruas de colheita, sendo importante mapear estas áreas com cuidado, uma vez que novas infestações normalmente começam nestes locais.

4.7.5 Mapeamento pela análise de imagens obtidas próximas ao solo

O mapeamento com uso de imagens obtidas próximas ao solo visa a substituição da detecção humana realizada por observações visuais pela detecção automatizada de plantas daninhas. A identificação manual dos locais de presença de plantas daninhas, bem como informações sobre o nível de infestação das espécies, passa a ser feita pela análise de imagens e seu processamento com uso de algoritmos para confirmar a posição

das áreas de interesse de controle (Stafford & Benlloch, 1997), com justificativa no elevado custo e tempo de realização de detecção manual de plantas daninhas.

Pérez et al. (2000) propuseram-se a estudar o desenvolvimento de técnicas de obtenção de imagens próxima ao solo e de processamento dessas imagens para mapear dicotiledôneas em uma área de cereais em condições de campo. Os métodos propostos usaram imagens videográficas coloridas para discriminar áreas com vegetação e solo, ao mesmo tempo que técnicas de análise de formatos foram aplicadas para distinguir as plantas daninhas da cultura comercial. A utilização de algoritmos comparados à classificação humana mostrou uma boa acurácia. Apesar das dificuldades de se determinar o número de plântulas de plantas daninhas, foi possível estimar sua área foliar relativa. As técnicas de mapeamento de plantas daninhas pela análise de imagens obtidas próximas ao solo apresentaram bom potencial na estimativa da distribuição da infestação, apesar das dificuldades encontradas devido a similaridade na reflexão espectral entre as plantas daninhas e a cultura. Zwiggelaar (1998) descreve outros fatores que podem interferir nesta técnica de mapeamento, tais como diferenças de reflexão espectral em função da espécie, tamanho das folhas, coloração, estádio de desenvolvimento e nutricional, além de diferença de luminosidade e condições climáticas ideais.

Stafford & Benlloch (1997) observaram uma boa correlação entre o método de identificação de plantas daninhas pela análise de imagens obtidas próximas ao solo quando comparado com a identificação manual (visual), porém a contagem de plântulas de modo automático é superestimada quando se tem baixa densidade populacional de plantas daninhas, devido a falta de regularidade na geometria da cultura, e subestimada quando se tem elevada densidade, como resultado da sobreposição das folhas das plântulas. Ainda existem muitas limitações à aplicação prática desse método de mapeamento.

4.7.6 Mapeamento pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude

A análise e processamento de imagens aéreas é outra opção que pode ser usada como base de dados para a elaboração de mapas de tratamentos na aplicação de herbicidas (Antuniassi, 1998). Além disso, pode fornecer informação de suporte para a modificação de um sistema de mapeamento em grades de amostragem usado num processo

inicial de identificação de plantas daninhas (Clay & Johnson, 1999). Ainda segundo estes autores, as imagens aéreas podem ser realizadas por vários anos em diversas fases de uma cultura fornecendo uma visão de todo o campo, fazenda, bacias hidrográficas, além de ser potencialmente usada na identificação, categorização e determinação de diferenças e similaridades na cultura e condições do campo em extensas áreas geográficas.

As imagens aéreas são obtidas por processos usuais de videografia ou fotografia, com uso de aeronaves (Brown et al., 1994; Broulik et al., 1999; Rew et al., 1999), aeromodelos radio controlados (Thurling et al., citados por Thompson et al., 1991; Stafford & Miller, 1993; Stafford & Benlloch, 1997) ou balões (Thornton et al., 1990), sendo usadas na forma convencional ou infra vermelho, como base para análise da infestação e elaboração dos mapas após sua digitalização e processamento.

A comparação entre sistemas de sensoriamento remoto, com sensores fotográficos e não fotográficos, é proposta por Schlemmer et al. (1999), trabalho que também apresenta informações básicas sobre a obtenção de dados por sensoriamento remoto.

Thornton et al. (1990), estudando a distribuição espacial de plantas daninhas para modelagem de limites econômicos para o seu controle, realizaram mapeamentos da população de plantas daninhas por observações aéreas. Os procedimentos consistiram na utilização de um balão de hélio sobrevoando em baixa altitude (aproximadamente 65 metros de altura do solo) e de uma câmera fotográfica radiocontrolada com lente de 35 milímetros para fotografar uma área no solo de cerca de 30x20 metros. No balão foi necessária a presença de três pessoas. Um mosaico com cerca de 50 fotos de 152x102 milímetros foi construído. A identificação da planta daninha de interesse foi imediata em função de suas panículas de cor quase branca serem contrastantes com a cor da cultura. O mosaico de fotos foi digitalizado e manipulado usando um sistema de informações geográficas (ARC/INFO). Os objetivos do mapeamento foram a estimativa da área afetada por plantas daninhas no campo e da área com típicas manchas de plantas daninhas para que se permitisse o cálculo da estimativa das perdas no rendimento da cultura comercial. Entre os problemas enfrentados, os mais importantes foram a dificuldade de se manter a altitude da câmera constante por causa do vento, de se manter o plano de fotografia paralelo ao solo e de se construir o mosaico de fotos manualmente. A sugestão dada por eles para que se contornassem estes problemas foi a utilização de uma aeronave para vôos em baixa altitude com uso de uma câmera fotográfica

com formato de fotos capazes de abranger todo o campo com suficiente resolução. A questão do custo de observações aéreas é suficiente, segundo os autores, para não sugerir esta prática como forma de monitoramento cotidiano num futuro imediato.

Rew et al. (1999) desenvolveram uma técnica de sensoriamento remoto para identificação e mapeamento de plantas daninhas baseada na utilização de uma câmera de vídeo capaz de capturar imagens multiespectrais (azul - 440nm, verde - 550nm, vermelho - 650nm, infravermelho - 770nm) com uso de uma aeronave. O processamento dessas imagens de vídeo diferem das fotografias convencionais, pois requerem a captura dos diversos quadros ("frames") que compõem o filme para a obtenção de imagens que são digitalizadas. Tanto Rew et al. (1999) quanto Stafford & Benlloch (1997) utilizaram um programa computacional ("software") para captura e digitalização dos diversos quadros dos filmes com imagens aéreas.

Após a digitalização das imagens aéreas (obtidas por fotografia ou videografia) é necessário que se realize o seu georreferenciamento. Lamb et al. (1999) utilizaram um DGPS para garantir a acurácia das coordenadas geográficas de cercas, árvores e outros objetos que pudessem ser identificados nas imagens aéreas, servindo como pontos de controle no georreferenciamento das imagens. Para imagens cobrindo áreas de 12 hectares foram usados 8 pontos de controle, e para áreas de 49 a 197 hectares, 16 a 17 pontos. Houve dificuldade na visualização dos pontos de controle e um erro de georreferenciamento maior para a maior área, sendo sugerida a utilização de pontos de mais fácil visualização, no maior número possível. Para Lamb & Brown (2001), ao se compreender a dinâmica de distribuição das plantas daninhas e os erros envolvidos na análise de imagens e seu processo de georreferenciamento será possível aplicar zonas ou áreas de segurança ao redor da localização das plantas daninhas para se criar mapas de tratamentos úteis e de acurácia representativa.

A compreensão do significado da resolução de um pixel pode ajudar na determinação da utilidade de uma imagem num programa de mapeamento de plantas daninhas (Clay & Johnson, 1999), sendo importante a relação entre o tamanho do pixel e o tamanho mínimo do objeto em estudo. Um pixel com a resolução de $1m^2$ irá integrar a reflectância e atribuir um valor à uma área correspondente a uma mesa de 1x1m. A resolução de $30m^2$ por pixel representa um único valor de reflectância para uma área de 5x6m. É possível que grandes manchas de plantas daninhas apareçam em imagens com a resolução de

$30m^2$ por pixel, no entanto, resoluções menores são capazes de fornecer informações mais detalhadas.

Lamb et al. (1999) investigaram os efeitos da resolução espacial de imagens aéreas na acurácia dos mapas de plantas daninhas, obtendo imagens de um campo com uma aeronave usando câmeras de vídeo com formato de imagem de 740x576 pixels. O tamanho do pixel e a resolução da imagem são governados pela altitude da câmera em relação solo. Para altitude de vôo de 3048, 2286, 1524 e 762m, as câmeras produziram imagens com a resolução por pixel de 2x2, 1,5x1,5, 1x1 e 0,5x0,5m, cobrindo áreas de 197, 111, 49 e 12 hectares, respectivamente.

Imagens aéreas obtidas em baixa altitude de vôo foram realizadas por Rew et al. (1999) com aeronave a altitudes de 1167 e 833m, por Brown et al. (1994) com aeronave de 500 a 750m e por Stafford & Benlloch (1997) com aeromodelo voando de 300 a 500m de altitude, o que mostra as diversas possibilidades de altitudes de vôo no mapeamento das plantas daninhas.

Clay & Johnson (1999) consideram como desvantagens do mapeamento pela análise de imagens aéreas a necessidade (i) de pós-processamento das imagens (digitalização, georreferenciamento e análises), o que significa que as imagens precisam ser analisadas por profissionais treinados e (ii) de se ter as imagens analisadas em um curto período de tempo após a sua realização, o que é fundamental para a tomada de decisão e aplicação de herbicidas pós-emergentes. Para os autores o horário do vôo também deve ser levado em consideração, pois podem existir diferenças nas imagens obtidas em diferentes horários. Imagens realizadas no outono podem ser excelentes fontes de informação sobre a posição de manchas de plantas daninhas perenes, que possivelmente estarão verdes, mesmo depois que a cultura esteja num estágio avançado de senescência.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material[1]

5.1.1 Área experimental

O ensaio foi instalado e conduzido na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agronômicas – Campus de Botucatu – UNESP, município de Botucatu, Estado de São Paulo, na gleba denominada Alcantis, situada à margem esquerda da Rodovia Alcides Soares sentido Botucatu–Vitoriana.

O campo experimental tem sua localização geográfica definida pelas coordenadas 22°49'12" de latitude Sul e 48°25'47" de longitude Oeste, com altitude média de 770 metros, declividade entre 10 a 15%, com face de exposição ao Sol voltada ao norte-noroeste.

O experimento foi conduzido no período de junho de 2000 à maio de 2001. A área de 3,9 hectares vem sendo cultivada desde 1994 com milho em sistema de plantio direto sobre vegetação espontânea, sendo o milho normalmente semeado em dezembro, após dessecação da área, e colhido em maio, período após o qual a área permanece em pousio, deixando-se desenvolver vegetação espontânea até dezembro.

[1] A citação de marcas comerciais não implica na recomendação de uso por parte do autor

5.1.2 Solo

O solo da área experimental foi classificado por Carvalho et al. (1983) como Terra Roxa Estruturada, sendo classificado pelo Sistema de Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999) como Nitossolo.

O Quadro 1 apresenta os resultados das análises químicas do solo na profundidade de 0-20cm, antes da instalação do experimento, análises estas realizadas pelo Departamento de Ciências do Solo, Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu.

5.1.3 Dados climatológicos

Os valores das precipitações pluviais, umidades relativas do ar e temperaturas médias do ar ocorridas no período da condução do experimento encontram-se no Quadro 2.

5.1.4 Insumos

5.1.4.1 Sementes

Foram utilizadas sementes de milho híbrido simples modificado, marca Dina 766, na quantidade de 60.000 sementes/ha, com pureza de 99% e poder germinativo mínimo de 85%.

5.1.4.2 Fertilizantes

Os seguintes fertilizantes foram utilizados na cultura de milho:

- Formulado NPK 8-28-16 na dosagem de 275kg/ha na semeadura;
- Uréia (44% de nitrogênio), na dosagem de 200kg/ha como adubação de cobertura.

Quadro 1 – Resultados das análises químicas do solo na profundidade de 0-20cm, antes da instalação do experimento.

pH	M.O.	P-resina	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
$CaCl_2$	g/dm^3	mg/dm^3	$mmol_c/dm^3$						%
5,5	27	50	26	4,8	72	32	109	135	81

Metodologia descrita por Raij & Quaggio (1983), onde SB=soma de bases, CTC=capacidade de troca de cátions e V=saturação por bases.

Quadro 2 – Precipitação pluvial acumulada por quinzena e totais mensais, umidades relativas médias do ar e temperatura média do ar entre os meses de junho de 2000 e maio de 2001.

Mês/ano	Precipitação pluvial (mm)			Umidade relativa do ar	Temperatura média do ar
	1ª quinzena	2ª quinzena	Total mensal	%	°C
Junho/00	0,0	12,8	12,8	67,4	18,6
Julho/00	32,3	22,7	55,0	66,3	15,3
Agosto/00	4,1	69,6	73,7	68,8	17,6
Setembro/00	113,3	14,6	127,9	77,0	18,4
Outubro/00	3,3	17,0	20,3	70,2	23,2
Novembro/00	73,7	118,2	191,9	78,3	21,4
Dezembro/00	122,1	64,7	186,8	80,3	22,2
Janeiro/01	115,4	206,8	322,2	77,6	23,6
Fevereiro/01	238,3	39,9	278,2	82,5	23,9
Março/01	115,8	40,8	156,6	78,2	23,3
Abril/01	18,2	6,7	24,9	73,4	22,7
Maio/01	40,8	50,2	91,0	78,0	17,6

5.1.4.3 Defensivos

Na dessecação das plantas daninhas antes da semeadura foi utilizada a mistura de dois herbicidas:

- 5,0 $L.ha^{-1}$ de Roundup (produto comercial a 360 $g.L^{-1}$ de equivalente ácido de glyphosate);
- 1,0 $L.ha^{-1}$ de Aminol 806 (produto comercial a 670 $g.L^{-1}$ de equivalente ácido de 2,4-D).

Na condução da cultura de milho foram utilizadas misturas de herbicidas seletivos em pós-emergência, inseticidas e óleo mineral em duas ocasiões:

- 6,0 $L.ha^{-1}$ de Extrazin SC (produto comercial a 250 $g.L^{-1}$ de atrazine + 250 $g.L^{-1}$ de simazine) + 250 $mL.ha^{-1}$ de Decis 25 CE (produto comercial a 25 $g.L^{-1}$ de deltamethrine) + 1,0 $L.ha^{-1}$ de Assist (produto comercial a 756 $g.L^{-1}$ óleo mineral parafínico);
- 1,25 $L.ha^{-1}$ de Sanson 40 SC (produto comercial a 40 $g.L^{-1}$ nicosulfuron) + 250 $mL.ha^{-1}$ de Decis 25 CE (produto comercial a 25 $g.L^{-1}$ deltamethrine).

Em todas as aplicações foram utilizados 160 $L.ha^{-1}$ de calda e pressão de 25 $lb.pol^{-2}$.

5.1.5 Máquinas e implementos agrícolas [2]

5.1.5.1 Máquinas

Para instalação e condução do experimento foram utilizados:

- Trator marca Massey Ferguson, modelo MF 283 Export, com tração 4x2, potência de 85cv no motor;
- Trator marca Massey Ferguson, modelo MF 265, com tração 4x2, potência de 62cv no motor;
- Colhedora marca Massey Ferguson, modelo MF 3640, com tração 4x4, potência de 120cv no motor, equipada com uma plataforma para 4 linhas de milho.

[2] Conforme catálogos dos fabricantes

5.1.5.2 Implementos

Para instalação e condução do experimento foram utilizados:

- Triturador de palhas marca Jan, modelo Tritton 2300, montado, rotor horizontal de 607mm, 64 facas curvas, oscilantes e reversíveis, defletor frontal articulado, palhetas difusoras, sistema de regulagem da altura de corte e massa de 650kg;
- Pulverizador de barras marca Jacto, modelo Condor, montado, massa de 195kg, tanque com capacidade de 600 litros de calda, barras com largura útil de 12m, equipado com 24 bicos de jato plano marca Jacto AXI 110-02;
- Semeadora-adubadora marca Tatu, modelo STP^2 – Sistema Tatu de Plantio, montada, com 4 linhas individuais espaçadas de 900mm, capacidade de 200kg de fertilizantes e 136kg de sementes e massa de 763kg;
- Distribuidor de adubo marca Tatu, modelo CPD – Cobertura para Plantio Direto, montado, adubadora dupla com capacidade total dos depósitos de 110 litros, comprimento do chassi de 2300mm, 4 discos duplos desencontrados de 13" x 15", altura livre de 800mm, massa de 334kg, potência requerida no motor de 50 a 55cv. O equipamento foi utilizado sem que os discos tivessem contato com o solo de modo a realizar adubação de cobertura na cultura sem a incorporação do adubo.
- Carreta de um eixo

5.1.6 Sistemas de posicionamento global

Para realização de levantamentos das coordenadas geográficas da área e das plantas daninhas mapeadas foram utilizados três sistemas de posicionamento global (GPS), com suas características descritas a seguir:

- Equipamento de Posicionamento Global com Correção Diferencial (DGPS) marca Trimble, modelo AgGPS 132, com precisão submétrica, equipado com antena dupla para correção do sinal em tempo real (fornecida pela OmniSTAR) e barra de luzes para navegação em faixas.
- Equipamento GPS portátil para navegação, marca Garmin, modelo GPS II, com precisão limitada ao código C/A, sem correção diferencial do sinal.

- Equipamento DGPS portátil marca Ashtech, modelo Reliance Position, com precisão submétrica, com correção diferencial pós processada ou em tempo real, equipado com coletor de dados (handheld). Este equipamento pertence ao Departamento de Cartografia da Unesp de Presidente Prudente.

5.1.7 Sistema de informação geográfica

Para as atividades de edição, classificação, manipulação e tratamento dos dados dos mapeamentos, confecção, visualização e comparação de mapas foi utilizado o sistema de informação geográfica IDRISI 3.2 for Windows (Eastman, 1997), instalado em um microcomputador Pentium II 233, com 64MB de RAM e 10GB de memória na unidade de disco.

5.1.8 Avião e equipamentos para obtenção das imagens

As fotografias aéreas de baixa altitude foram feitas a partir de uma aeronave Piper modelo PA-18. A aeronave apresenta asa alta e dois acentos em tandem.

Os equipamentos fotográficos utilizados foram:

- câmera fotográfica mecânica com ajustes manuais de foco e fotômetro, marca/modelo ASAHi-Pentax K1000, com objetiva 28-70, utilizando filme de 35mm colorido ISO 100;
- câmera fotográfica eletrônica com ajustes de foco e fotômetro automáticos, sistema APS, marca/modelo Fotomax 250X, utilizando filme APS colorido ISO 200;
- câmera digital com ajustes de foco e fotômetro automáticos, marca/modelo Sony Mavica MVC-FD85, operando com formato de 1024x768 pixels por imagem e registro em disco 3,5" MF2-HD;
- câmera de vídeo S-VHS com ajuste de foco automático, marca/modelo PanasonicAG-456 Pro Line, com registro em fita VHS.

5.1.9 Programas computacionais

Os programas computacionais utilizados foram:

- SAS for Windows – Versão 6.12 (SAS Institute Inc., 1990);
- GS+ for Windows – Geostatistics for the Environmental Sciences, Versão 5.0.3 Beta, Edição Profissional (Gamma Design Software, 2000);
- Adobe Photoshop 5.0 for Windows (Adobe Systems Inc., 1998);
- IDRISI 32 for Windows (Eastman, 1997).

5.1.10 Outros materiais

Além dos materiais e equipamentos já citados, foram utilizados no decorrer dos trabalhos de campo e de laboratório:

- Computador notebook marca Hitashi conectado ao DGPS marca Trimble para aquisição das coordenadas dos pontos dos levantamentos a campo;
- Scaner de mesa marca Genius, modelo ColorPage-Vivid ProII, com resolução máxima de 1200 dpi;
- Enxada, cavadeira, marreta, estacas de madeira (40cm de altura, 6cm de largura, 2cm de espessura), estacas de bambu (4m de altura), sacos de ráfia cor branca, trado, recipientes para amostragem de solo, quadrado de madeira (50x20cm – medidas internas), trena, bandejas de plástico cor branca (50x30cm), prancheta e papel para anotações de campo.

5.2 Métodos

5.2.1 Seqüência de operações

A instalação, condução e coleta de dados foram realizadas conforme o cronograma descrito a seguir:

22/09/00	Determinação das coordenadas do perímetro da área
	Determinação das coordenadas do ponto central das grades de amostragem e locação das estacas
	Determinação da acurácia do GPS de navegação
	Identificação das plantas daninhas da área
	Amostragem de solo para caracterização da área
19/10/00	Mapeamento pelo caminhamento em grade de amostragem
	Mapeamento pelo caminhamento no contorno das manchas
	Mapeamento pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude
10/11/00	Pulverização com mistura de herbicidas
06/12/00	Manejo mecânico da vegetação de plantas daninhas com triturador
07/12/00	Semeadura e adubação do milho
20/12/00	Mapeamento pelo caminhamento em grade de amostragem
	Mapeamento pelo caminhamento no contorno das manchas
	Mapeamento pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude
22/12/00	Pulverização com mistura de herbicida, inseticida e óleo mineral
04/01/01	Pulverização com mistura de herbicida e inseticida
16/01/01	Adubação nitrogenada do milho
10/05/01	Mapeamento pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude
18/05/01	Colheita de milho
	Mapeamento pelo deslocamento da colhedora no campo
30/05/01	Mapeamento pelo caminhamento em grade de amostragem
	Mapeamento pelo caminhamento no contorno das manchas
	Mapeamento pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude

5.2.2 Determinação das coordenadas do perímetro da área

As coordenadas dos pontos do perímetro da área experimental foram determinadas com o uso do conjunto desenvolvido por Lanças (2000) composto pelo receptor DGPS marca Trimble conectado ao notebook colocados numa carreta puxada por um trator, o qual contornou a área experimental, trafegando sobre o seu perímetro conforme as coordenadas foram sendo coletadas a cada intervalo de tempo de 1 segundo. Os pontos foram editados e um arquivo de contorno foi criado no IDRISI, segundo metodologia descrita por Eastman (1997).

5.2.3 Determinação das coordenadas do ponto central das grades de amostragem

A área experimental de 3,9 hectares foi dividida em uma grade quadrada de dimensões aproximadas de 20x20 metros, perfazendo um total de 101 pontos representando ao redor de 400m^2 cada, sendo o quadrado demarcado com uma estaca de madeira numerada no seu centro. Estas estacas foram mantidas na área durante todo o ciclo da cultura para que se pudesse identificar a posição de cada ponto georreferenciado.

Para a determinação das coordenadas dos pontos e alinhamento das retas que formaram a grade foi utilizado o DGPS Trimble equipado com o sistema de barra de luzes para navegação em faixas desenvolvido por Lanças (2000).

Os equipamentos foram acoplados ao trator que trafegou dentro da área em linhas retas e paralelas, distanciadas de aproximadamente 20m. A cada 20m no sentido do comprimento da linha o sistema alertava o tratorista por meio da buzina do trator, para que esse parasse o trator para que as estacas fossem locadas. No final de cada linha o sistema reconhecia a mudança de direção e informava ao tratorista o correto alinhamento a ser tomado, paralelo a linha anterior.

5.2.4 Determinação da acurácia do GPS de navegação

Após a retirada do erro imposto pela SA (selective availability – disponibilidade seletiva) pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, a utilização de

GPS para navegação mostrou-se possível para fins de alguns levantamentos em agricultura de precisão, uma vez que o erro desses rastreadores GPS que operam com o código C/A ficou muito reduzido comparado ao erro antes da retirada da SA (Stafford, 2000).

Para a determinação da acurácia estática do equipamento de GPS portátil para navegação marca Garmin em relação ao equipamento DGPS marca Trimble adaptou-se a metodologia descrita por Baio et al. (1998).

Para tal determinação foram tomados ao acaso 25 dos 101 pontos de coordenadas geográficas previamente determinadas pelo DGPS Trimble, demarcados no campo com uma estaca de madeira. As coordenadas destes pontos foram consideradas como verdadeiras uma vez que o equipamento DGPS tem correção diferencial do sinal e precisão submétrica. Nos referidos marcos foram determinadas as coordenadas geográficas com o equipamento GPS para navegação marca Garmin, sendo a leitura marcada uma única vez sobre cada um dos 25 pontos. Utilizou-se o sistema métrico (UTM) para facilitar o trabalho de comparação das distâncias entre as coordenadas dos pontos obtidas pelo DGPS e GPS. Montou-se uma planilha para calcular a diferença entre as coordenadas obtidas pelos dois equipamentos e os erros máximo e mínimo nas coordenadas dos pontos.

5.2.5 Identificação das plantas daninhas da área

As principais espécies de plantas daninhas encontradas na área experimental foram identificadas e catalogadas por meio de caminhamento dentro da área, utilizando o Manual de Identificação e Controle de Plantas Daninhas (Lorenzi, 1994). As plantas foram então agrupadas nas classes monocotiledôneas e dicotiledôneas.

5.2.6 Mapeamento de plantas daninhas

Foram utilizadas e avaliadas quatro diferentes metodologias de mapeamento visando a localização de áreas de interesse de controle de plantas daninhas:

(i) Mapeamento pelo caminhamento em grade de amostragem

(ii) Mapeamento pelo caminhamento no contorno das manchas

(iii) Mapeamento pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude

(iv) Mapeamento pelo deslocamento da colhedora no campo

Com base nos dados coletados a campo (atributos georreferenciados) das quatro diferentes metodologias, em suas épocas de coleta, foram realizados processos de edição, manipulação, tratamento e confecção dos mapas utilizando o software IDRISI, segundo metodologia descrita por Eastman (1997).

5.2.6.1 Mapeamento pelo caminhamento em grade de amostragem

Este método foi realizado pelo caminhamento nos 101 pontos georreferenciados definidos pela grade quadrada de aproximadamente 20x20m para amostragem das plantas daninhas da área.

Em cada ponto, representando uma área de aproximadamente 400m^2 e demarcado por uma estaca numerada, as plantas daninhas de interesse foram identificadas por no mínimo dois avaliadores, utilizando os seguintes critérios:

(i) Avaliação da presença e ausência: fez-se uma avaliação visual da área de cobertura das principais espécies de plantas daninhas observadas em cada grade de 20x20m, e anotou-se em uma planilha de campo a presença das espécies e/ou classes de maior ocorrência;

(ii) Avaliação da porcentagem de cobertura: fez-se uma avaliação visual da área de cobertura das principais espécies de plantas daninhas observadas em cada grade de 20x20m, e anotou-se em uma planilha de campo um valor correspondente a porcentagem de cobertura das espécies e/ou classes presentes, usando escala de 0 a 100%, variando de 5 em 5%;

(iii) Avaliação da densidade populacional: em cada grade de 20x20m, num raio de 2m ao redor da estaca que a demarcava, foi lançado por três vezes (amostra composta de três subamostras) um retângulo de dimensões internas de 0,20x0,50m, correspondendo a uma área amostral total de 0,30m^2. Dentro de cada retângulo foram contadas as plântulas das espécies e/ou classes de plantas daninhas emergidas e os valores das três repetições somados e multiplicados por 3,33 para conversão do resultado em plantas.m^{-2}.

Após a tabulação dos dados de campo, com a utilização do IDRISI foram criados mapas onde cada um dos 101 pontos passou a ser representado por "x,y,z", onde 'x' é a longitude do ponto, 'y' é a latitude do ponto, e 'z' corresponde ao valor de um atributo que pode ser representado pela (i) presença e ausência, (ii) porcentagem de cobertura ou (iii) densidade populacional da espécie ou classe de planta daninha identificada no ponto. Com esses mapas de pontos foram criados os mapas das imagens das grades de amostragem com áreas ao redor 400m^2 que representam áreas de interesse de controle de plantas daninhas.

Este mapeamento foi realizado em três épocas:

1) antes da semeadura direta de milho;

2) após a semeadura direta de milho;

3) após a colheita de milho.

5.2.6.2 Mapeamento pelo caminhamento no contorno das manchas

Esse método de mapeamento foi realizado pelo caminhamento no contorno das manchas das espécies ou classes de plantas daninhas de interesse com a utilização de um equipamento GPS portátil (Garmin), o qual foi usado para gravar as coordenadas dos pontos mais externos das manchas, atribuindo a esses pontos caracteres numérico ou alfa numérico para sua identificação. Antes da gravação das coordenadas de cada ponto do perímetro das manchas, o operador parava numa posição e aguardava alguns segundos até que o receptor informasse que sua velocidade de deslocamento era igual a zero. Este procedimento foi realizado para garantir a boa acurácia do mapeamento.

Estes pontos foram editados no IDRISI e pelo fechamento do polígono formado por eles foram criados mapas com o contorno das manchas de espécies ou classes de plantas daninhas, representando áreas de interesse de controle de plantas daninhas.

Este mapeamento foi realizado em três épocas:

1) antes da semeadura direta de milho;

2) após a semeadura direta de milho;

3) após a colheita de milho.

5.2.6.3 Mapeamento pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude

Este método visou a obtenção de imagens aéreas em baixa altitude de vôo da área em estudo. As imagens aéreas foram realizadas de uma aeronave voando numa faixa de 300 a 500 metros de altura acima do nível do solo, com velocidade próxima a 96km/h (60mph). Os vôos foram sempre realizados entre às 10 e 12 horas da manhã, em dias ensolarados e sem nuvens. A janela da lateral direita da aeronave foi retirada para que o passageiro pudesse utilizar, a partir do banco traseiro, a abertura da janela para posicionar manualmente as câmeras, sem a utilização de qualquer suporte especial para elas. As imagens foram coletadas conforme a aeronave se deslocava em curva para a direita, visualizando a área no sentido norte-sul, de forma que a abertura da janela fosse posicionada num plano aproximadamente paralelo ao solo.

Para possibilitar o georreferenciamento das imagens no IDRISI foi necessária a demarcação de pontos de coordenadas conhecidas para sua visualização na imagem. Para tanto foram colocadas bandejas de plástico, de cor branca e com dimensões de 0,40x0,60m, ao lado de 20 (das 101) estacas numeradas nos pontos de referência, distribuindo-as de forma preestabelecida na área. Na imagem obtida antes da colheita não foi possível utilizar as bandejas devido a altura das plantas de milho. Assim, utilizou-se sacos de ráfia de cor branca colocados na ponta de estacas de bambu de 4 metros de altura, as quais foram colocadas ao lado das estacas numeradas de coordenadas conhecidas.

As fotografias foram digitalizadas em scaner na resolução de 300dpi, resultando num formato de 1745x1176 pixels. Para se calcular a resolução dessas fotografias, considerando a altitude do vôo e o enquadramento da área na foto, contou-se o número de pixels entre pontos de distâncias conhecidas na imagem e, pela relação entre a distância e o número de pixels, obteve-se uma resolução média de 0,04m^2 por pixel, ou seja, um pixel abrangendo uma área de 0,20x0,20m. As imagens obtidas pela câmera de vídeo foram digitalizadas através de interface acoplada a um microcomputador IBM-PC compatível, utilizando formato de 180x240 pixels. Já as imagens obtidas pela câmera digital foram obtidas no formato de 1024x768 pixels.

As imagens digitalizadas convertidas para o IDRISI foram exibidas na tela (comando “Display”) para a visualização dos 20 dos pontos de coordenadas conhecidas

representados pelas bandejas de plástico ou sacos de ráfia. Movendo-se o cursor sobre os pontos na imagem exibida na tela foi possível anotar os valores de x e y contidos na barra de estatus do programa para se editar um arquivo no formato ASCII com as coordenadas dos pontos, criando um arquivo de correspondência entre a posição dos pontos na imagem e sua posição verdadeira no campo, arquivo usado para georreferenciar a imagem pela rotina de "Resample" do IDRISI, adotando-se o menor erro possível referente a sua distorção.

O processo de separação visual das manchas de plantas daninhas observadas nas imagens aéreas foi realizado com o auxílio do programa Adobe Photoshop (Adobe Systems Inc., 1998). A partir da seleção de uma cor que representava uma mancha de plantas daninhas, o programa foi capaz de selecionar todos os pixels com a mesma tonalidade na imagem, facilitando assim a visualização e separação de manchas. Estas imagens foram usadas no IDRISI para a construção de mapas dos polígonos delimitados pelo contorno das manchas obtidas pelas imagens aéreas.

Este mapeamento foi realizado em quatro épocas:

1) antes da semeadura direta de milho;
2) após a semeadura direta de milho;
3) antes da colheita de milho;
4) após a colheita de milho.

5.2.6.4 Mapeamento pelo deslocamento da colhedora no campo

Este método consistiu em deslocamento no campo com aproveitamento da operação de colheita mecanizada da cultura de milho para georreferenciamento das plantas daninhas de interesse com um equipamento DGPS portátil com coletor de dados da marca Ashtech.

Sobre o graneleiro da colhedora foi possível observar áreas com manchas de plantas daninhas verdes na meio da cultura de milho em processo de senescência, manchas às quais foram atribuídas a ocorrência de espécies ou classes de plantas daninhas de interesse.

No programa que acompanha o equipamento DGPS foi criado um arquivo de dados contendo as classes de plantas daninhas a serem mapeadas, segundo

metodologia descrita por Ashtech (1996). Este arquivo foi transferido para o coletor de dados do equipamento DGPS portátil permitindo que estas plantas daninhas tivessem suas coordenadas geográficas gravadas com o pressionar de teclas na tela do coletor de dados.

Conforme a colhedora se deslocava na área foi feita a identificação das plantas daninhas observadas a frente da plataforma e, a partir daí, com o uso do coletor de dados, a gravação das coordenadas de linhas contendo as plantas daninhas. Quando as plantas daninhas deixavam de estar presentes, pressionava-se uma tecla no coletor de dados para interromper a gravação de suas coordenadas. Este procedimento foi adotado durante toda a colheita. A antena receptora do sinal GPS foi fixada sobre o graneleiro da colhedora, permitindo assim que o tempo para pressionar as telhas do coletor de dados fosse o mesmo que o intervalo entre a visualização da presença das plantas daninhas à frente da plataforma e o seu deslocamento para a posição da antena.

Considerou-se a presença das plantas daninhas quando havia mais de 50% da área da plataforma com a classe de monocotiledôneas mapeada, uma vez que quatro linhas de milho eram colhidas pela plataforma, ficando assim estabelecido que as linhas de coordenadas georreferenciadas tivessem a largura da plataforma.

Estes pontos foram editados no IDRISI e pelo fechamento do polígono formado pelas linhas com a presença de plantas daninhas foram criados mapas com o contorno das manchas dos grupos de plantas daninhas de interesse.

5.2.7 Geoestatística na elaboração dos mapas

A análise espacial das infestações de plantas daninhas agrupadas em mono e dicotiledôneas foi realizada para que se pudesse elaborar mapas com a tendência da distribuição.

A normalidade da distribuição dos dados da avaliação da porcentagem de cobertura e da densidade populacional de plantas daninhas obtidos nos mapeamentos pelo caminhamento em grade de amostragem foi testada com o programa SAS (SAS Institute Inc., 1990). Nos dados que apresentaram distribuição não normal foi aplicada uma transformação logarítmica com ln(Z+1), onde Z são os dados originais, para estabilizar a variância, segundo metodologia de Cambardella & Karlen (1999). Com os dados foram ajustados os

semivariogramas com a utilização do programa GS+ for Windows (Gamma Design Software, 2000), para obtenção dos parâmetros de efeito pepita, patamar e alcance do melhor modelo ajustado aos dados. Este modelo foi utilizado no IDRISI para a interpolação dos dados e elaboração dos mapas das infestações.

5.2.8 Parâmetros de avaliação

A avaliação dos mapas gerados pelos diferentes metodologias para cada uma das épocas de coleta foi feita por meio de análises subjetivas que levaram em consideração, entre outros, os aspectos práticos da realização dos mapeamentos, as dificuldades encontradas, as peculiaridades de cada metodologia, e a facilidade de confecção dos mapas.

Além dessas avaliações de cunho subjetivo foram realizadas comparações quantitativas entre as áreas de infestação dos mapas. A área de infestação de plantas daninhas foi calculada com a utilização do IDRISI (Eastman, 1997) separadamente para cada metodologia de mapeamento, baseada no total da área coberta por plantas daninhas. Também foram calculadas as áreas comuns de infestação entre duas ou mais metodologias de mapeamento, determinadas pela sobreposição entre as áreas de infestação obtidas pelos mapeamentos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Coordenadas do perímetro da área

As coordenadas dos pontos que definiram o perímetro da área experimental estão graficamente representadas na Figura 1. Pela união desses pontos foi criada uma linha de perímetro (Figura 2), delimitando uma área de 3,9 hectares.

6.2 Coordenadas do ponto central das grades de amostragem

Os pontos georreferenciados que demarcaram a área em uma grade amostral de 101 quadrados de aproximadamente 20x20 metros tem suas coordenadas representadas pela Figura 3.

6.3 Acurácia do GPS de navegação

Pela sobreposição dos pontos determinados pelo GPS em relação ao DGPS (Figura 4) e pelos resultados apresentados no Quadro 3, é possível observar uma boa acurácia entre as coordenadas geográficas determinadas pelos equipamentos.

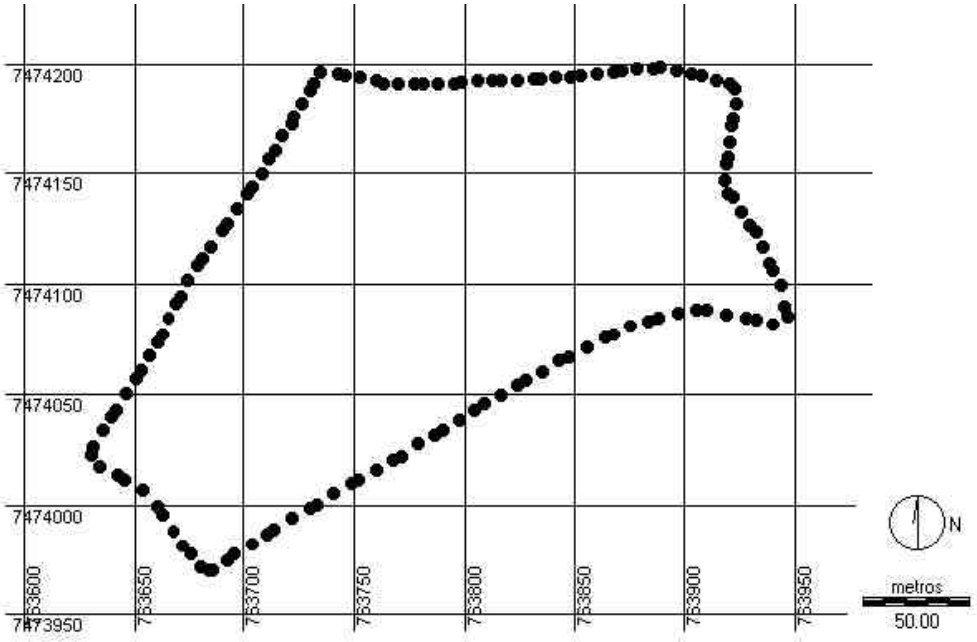

Figura 1 – Coordenadas dos pontos do perímetro da área experimental determinadas pelo DGPS em setembro de 2000.

Figura 2 – Coordenadas da linha de perímetro da área experimental criada pela união dos pontos do perímetro.

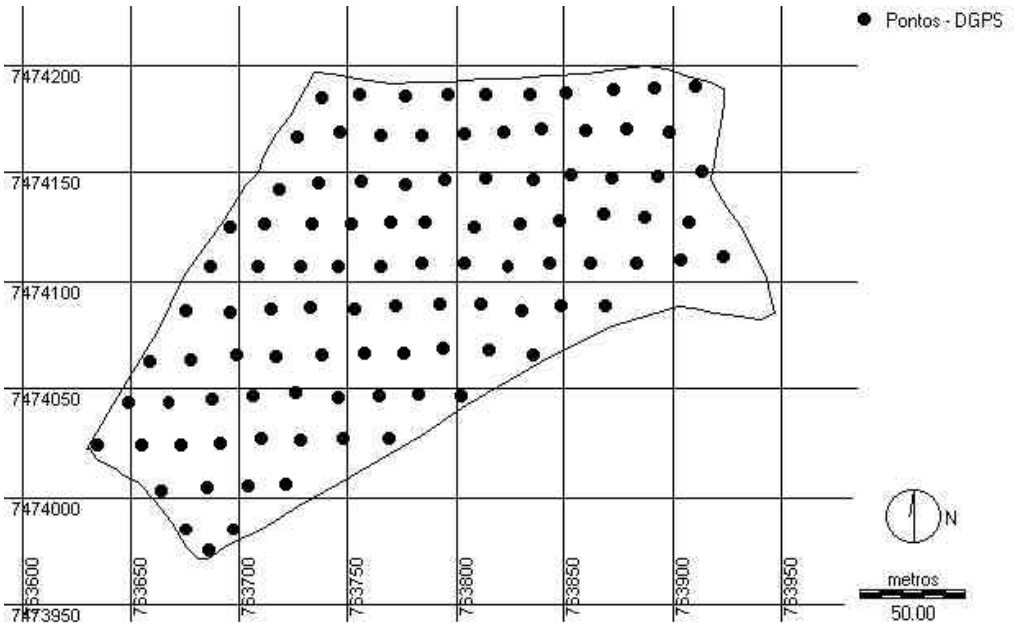

Figura 3 – Coordenadas do ponto central das grades de amostragem determinadas pelo DGPS em setembro de 2000.

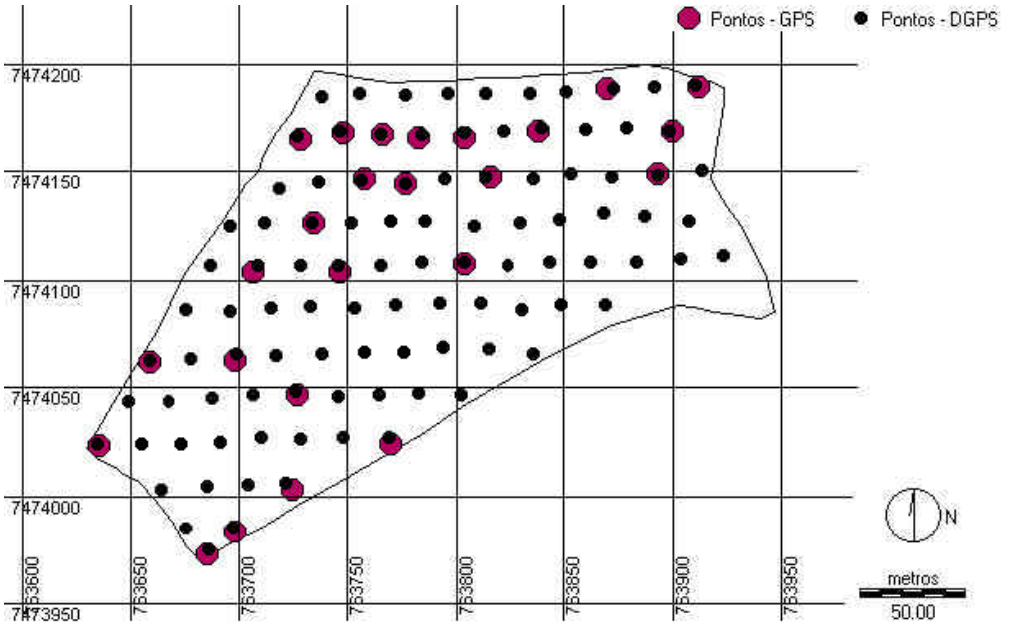

Figura 4 – Coordenadas dos pontos obtidos pelo receptor GPS sobrepostos aos pontos determinados pelo receptor DGPS.

Quadro 3 – Coordenadas geográficas de 25 pontos obtidas com os receptores DGPS e GPS e erros de posicionamento das coordenadas do GPS em relação as do DGPS.

Ponto	DGPS		GPS		Erro Absoluto	
	Longitude (m)	Latitude (m)	Longitude (m)	Latitude (m)	X (m)	Y (m)
1	763910,67	7474190,47	763912	7474190	1,33	0,47
2	763872,98	7474188,91	763870	7474189	2,98	0,09
3	763727,58	7474166,51	763729	7474165	1,42	1,51
4	763746,45	7474168,39	763748	7474168	1,55	0,39
5	763765,61	7474167,69	763766	7474167	0,39	0,69
6	763784,10	7474167,37	763783	7474166	1,10	1,37
7	763804,14	7474167,94	763804	7474166	0,14	1,94
8	763840,13	7474170,09	763838	7474169	2,13	1,09
9	763898,32	7474169,07	763900	7474169	1,68	0,07
10	763893,16	7474148,3	763893	7474149	0,16	0,70
11	763813,71	7474147,46	763816	7474148	2,29	0,54
12	763776,51	7474144,79	763777	7474145	0,49	0,21
13	763756,86	7474146,61	763758	7474147	1,14	0,39
14	763734,09	7474127,06	763735	7474127	0,91	0,06
15	763803,96	7474108,48	763804	7474108	0,04	0,48
16	763746,24	7474107,08	763747	7474104	0,76	3,08
17	763709,09	7474106,99	763707	7474104	2,09	2,99
18	763699,13	7474065,98	763699	7474063	0,13	2,98
19	763658,85	7474063,17	763659	7474062	0,15	1,17
20	763726,73	7474048,88	763727	7474047	0,27	1,88
21	763769,00	7474027,83	763770	7474025	1,00	2,83
22	763635,07	7474025,17	763636	7474024	0,93	1,17
23	763722,23	7474006,48	763725	7474004	2,77	2,48
24	763698,08	7473986,22	763699	7473984	0,92	2,22
25	763686,61	7473976,07	763686	7473974	0,61	2,07
Erro Mínimo Absoluto de Posicionamento					0,04	0,06
Erro Médio Absoluto de Posicionamento					1,10	1,31
Erro Máximo Absoluto de Posicionamento					2,98	3,08

No Quadro 3 são apresentadas as coordenadas dos pontos determinadas pelos equipamentos DGPS e GPS, bem como os valores dos erros de posicionamento na longitude e latitude das coordenadas obtidas pelo GPS em relação ao DGPS, cujas coordenadas foram adotadas como referenciais. Os dados mostram um erro médio absoluto de posicionamento na longitude de 1,10 metros e na latitude de 1,31 metros, resultando num erro combinado total de 1,71 metros. Isto indica boa acurácia do receptor GPS para utilização nos mapeamentos das manchas de plantas daninhas quando comparado ao valor de resolução requerida menor que 2 metros sugerido por Colliver et al. (1996). O posicionamento teve um erro mínimo absoluto de 0,04, 0,06 e 0,07 metros e um erro máximo de 2,98, 3,08 e 4,28 metros respectivamente na longitude, latitude e total pela combinação entre a longitude e a latitude, semelhante ao encontrado por Stafford et al. (1996) em mapeamento de manchas de plantas daninhas com um receptor GPS com correção diferencial com acurácia de 1 a 3 metros.

6.4 Plantas daninhas da área

As principais espécies de plantas daninhas encontradas na área experimental são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Principais espécies de plantas daninhas identificadas na área experimental em setembro de 2000, agrupadas nas classes de mono e dicotiledôneas, com nomes científicos e comuns.

Classe	Espécie	
	Nome Científico	Nome Comum
Monocotiledôneas	*Panicum maximum* Jacq.	capim-colonião*
	Sorghum arundinaceum (Willd.) Stapf.	sorgo-selvagem*
	Brachiaria plantaginea (Link) Hitchc.	capim-marmelada
	Digitaria horizontalis Willd.	capim-colchão
	Digitaria insularis (L.) Mea ex Ekman	capim-amargoso
	Rhynchelytrum repens (Willd.) C.E. Hubb.	capim-favorito
	Cenchrus echinatus L.	capim-carrapicho
	Commelina benghalensis L.	trapoeraba
Dicotiledôneas	*Raphanus raphanistrum* L.	nabiça*
	Alternanthera tenella Colla	apaga-fogo*
	Leonurus sibiricus L.	rubim*
	Ricinus communis L.	mamona*
	Ageratum conyzoides L.	picão-roxo
	Bidens pilosa L.	picão-preto
	Ipomoea grandifolia (Dammer) O'Don.	corda-de-viola
	Leonotis nepetaefolia (L.) R.Br.	cordão-de-frade
	Senna obtusifolia (L.) Irwin & Barneby	fedegoso
	Sonchus oleraceus L.	serralha
	Oxalis corniculata L.	trevo
	Richardia brasiliensis Gomez	poaia-branca
	Amaranthus hybridus L.	caruru-roxo
	Sida rhombifolia L.	guanxuma
	Solanum americanum Mill.	maria-pretinha
	Acanthospermum hispidum DC.	carrapicho-de-carneiro
	Euphorbia heterophylla L.	amendoim-bravo
	Portulaca oleracea L.	beldroega

* Espécies responsáveis por mais de 90% da cobertura da área

6.5 Mapas obtidos antes do manejo da vegetação para a semeadura de milho

Pelo fato da área experimental ser cultivada com milho no sistema de plantio direto sobre a vegetação espontânea de plantas daninhas, havia uma mistura muito grande de espécies de plantas daninhas em diferentes estádios de desenvolvimento (variando desde plântulas em emergência até plantas senescentes) no momento da realização dos mapeamentos feitos nesta época, antes do manejo da vegetação espontânea de plantas daninhas. Além do número de espécies infestantes ser elevado, a quantidade de biomassa da parte aérea da cobertura vegetal sobre o solo também era grande, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Vista da vegetação espontânea na área no momento da realização dos mapeamentos feitos antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

6.5.1 Mapas gerados pelo caminhamento em grade de amostragem

A partir dos mapas de pontos georreferenciados da grade de amostragem foram criados mapas das áreas representadas por esses pontos. Todos os resultados são apresentados por esses mapas das áreas com o atributo avaliado.

Pela avaliação da presença e ausência das principais espécies de plantas daninhas na área foram construídos mapas das áreas de presença e ausência de apaga-fogo (*Alternanthera tenella*), nabiça (*Raphanus raphanistrum*), rubim (*Leonurus sibiricus*), mamona (*Ricinus communis*), dicotiledôneas, capim-colonião (*Panicum maximum*), sorgo-selvagem (*Sorghum arundinaceum*) e monocotiledôneas (Figura 6 a 13).

Os resultados observados nos mapas das áreas de presença de apaga-fogo, nabiça e rubim (Figuras 6 a 8) mostram que estas espécies estão distribuídas por toda a área e presentes em respectivamente 70%, 89% e 77% da área, o que contribui para que a área com presença de dicotiledôneas (Figura 10) corresponda a 99% da área experimental. Pelo contrário, quando se observa a distribuição espacial de capim-colonião, sorgo-selvagem e monocotiledôneas em seus mapas de presença (Figuras 11 a 13), é possível visualizar uma maior agregação das plantas, presentes em apenas 47%, 16% e 66% da área, respectivamente. Estes resultados concordam com os de Nordmeyer et al. (1997), os quais, avaliando a distribuição espacial de plantas daninhas, observaram que as monocotiledôneas (infestando 70% da área) apresentam uma distribuição mais irregular ou heterogênea, enquanto as dicotiledôneas (infestando quase 100% da área) são distribuídas de um modo mais uniforme ou homogêneo em toda a área. Devido ao comportamento das dicotiledôneas nesta área em estudo, não se justificaria a utilização das técnicas de agricultura de precisão no seu levantamento e controle localizado, o qual deveria ser preferencialmente uniforme e em área total. No entanto, esta recomendação pode não ser válida para espécies de dicotiledônea com infestação e distribuição semelhante a de mamona, presente em apenas 15% da área, com mapa apresentado pela Figura 9.

A avaliação da porcentagem de cobertura não foi realizada nesta época, uma vez que se julgou inviável a aplicação deste critério de avaliação, sendo a infestação muito elevada e em área total. Pelo mesmo motivo, também não foi realizada a avaliação da densidade populacional de plantas daninhas.

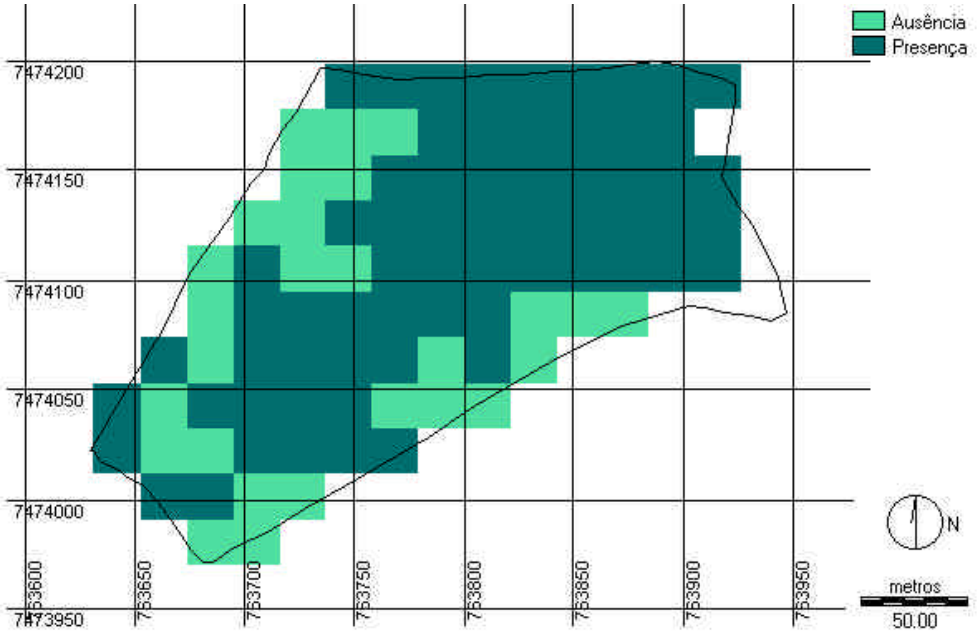

Figura 6 – Mapa das áreas de presença e ausência de apaga-fogo (*Alternanthera tenella*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

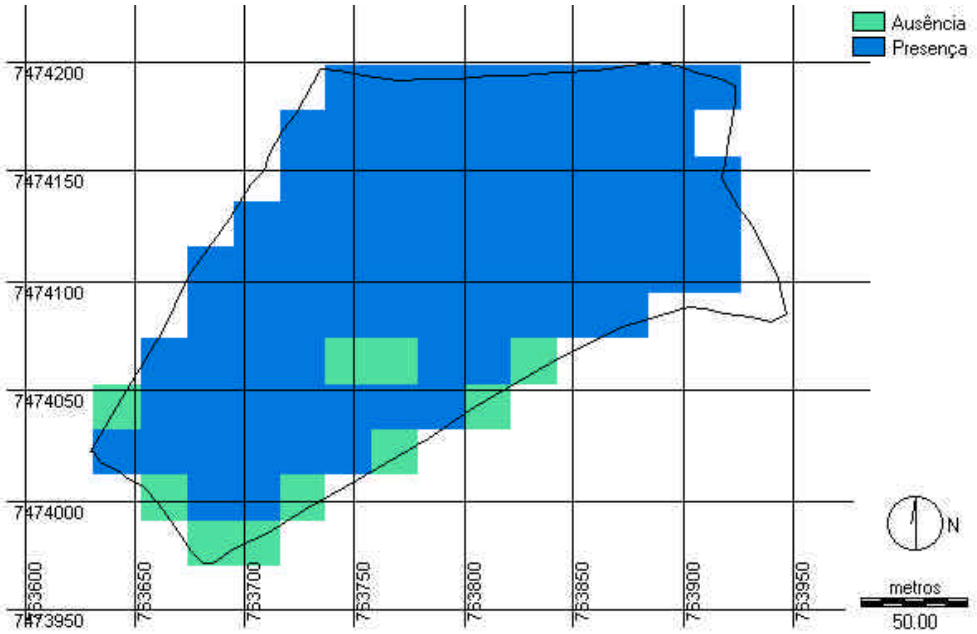

Figura 7 – Mapa das áreas de presença e ausência de nabiça (*Raphanus raphanistrum*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

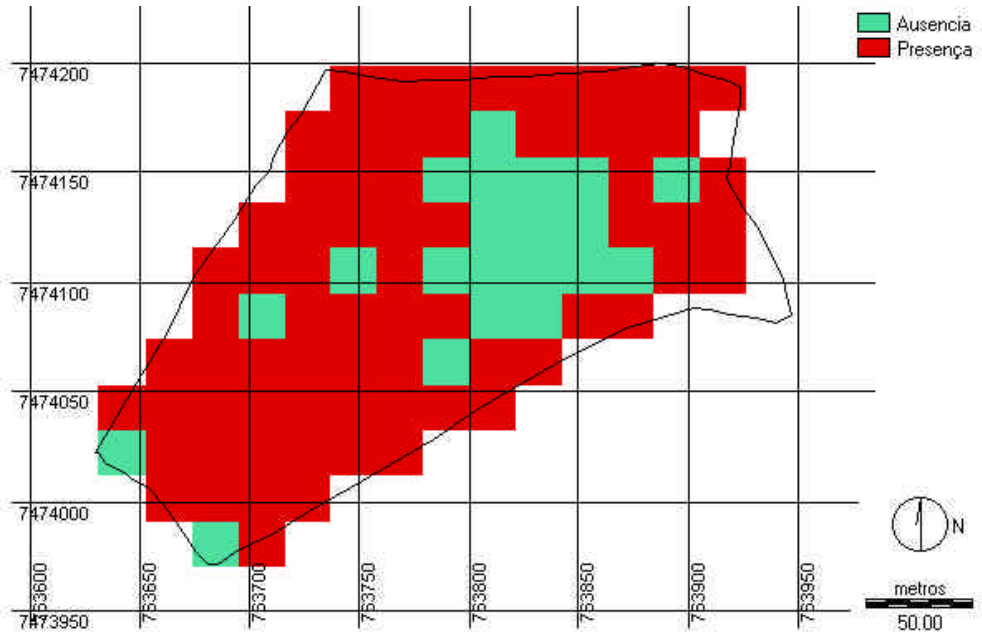

Figura 8 – Mapa das áreas de presença e ausência de rubim (*Leonurus sibiricus*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

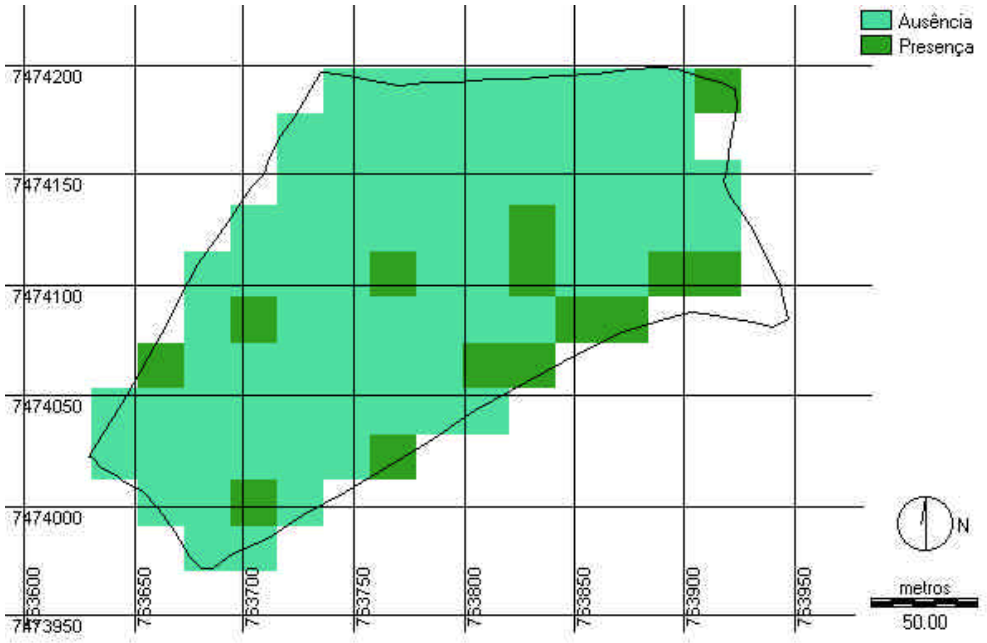

Figura 9 – Mapa das áreas de presença e ausência de mamona (*Ricinus communis*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

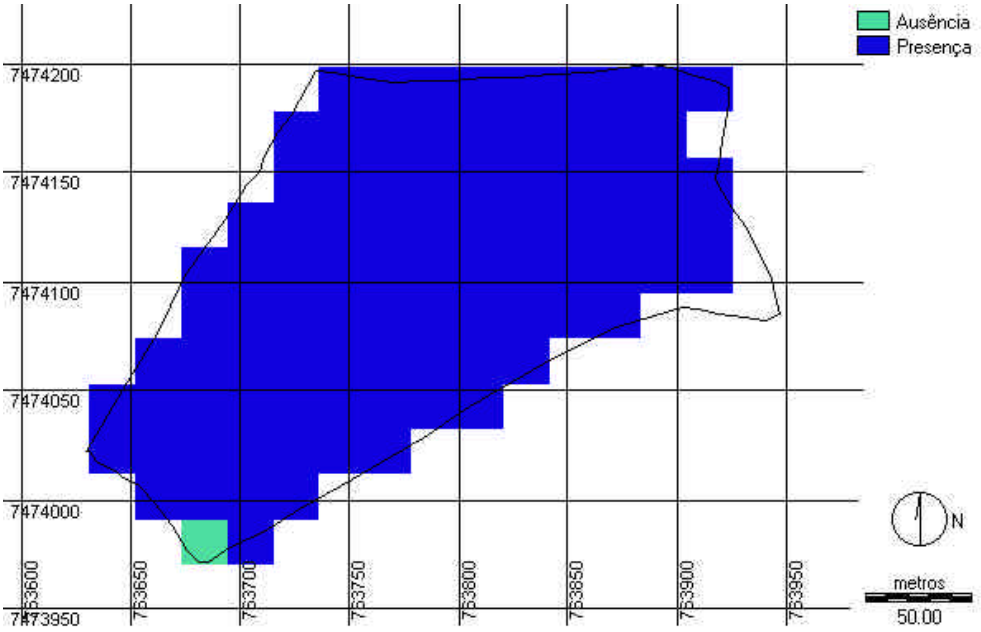

Figura 10 – Mapa das áreas de presença e ausência de dicotiledôneas obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

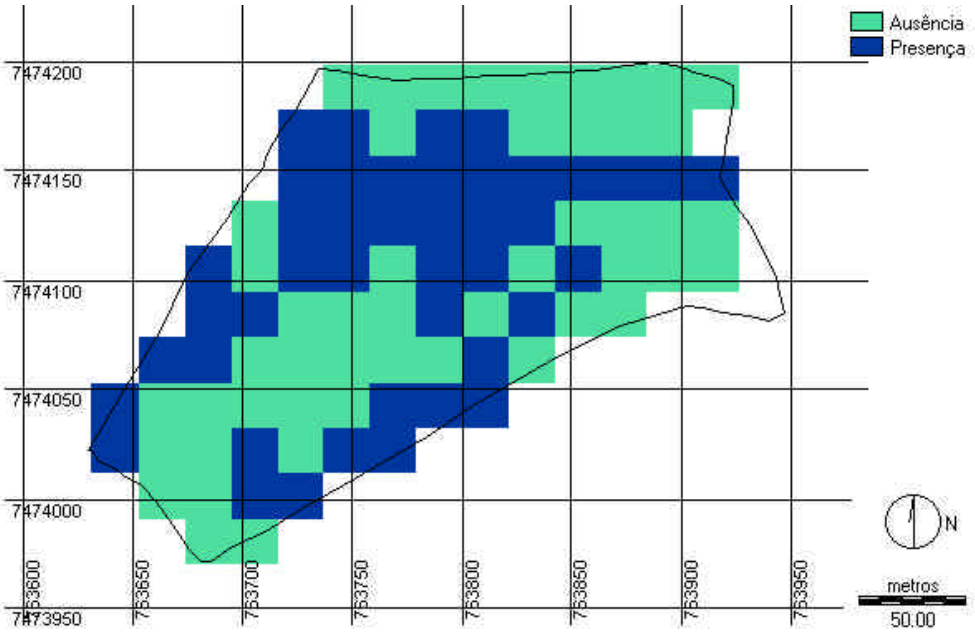

Figura 11 – Mapa das áreas de presença e ausência de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

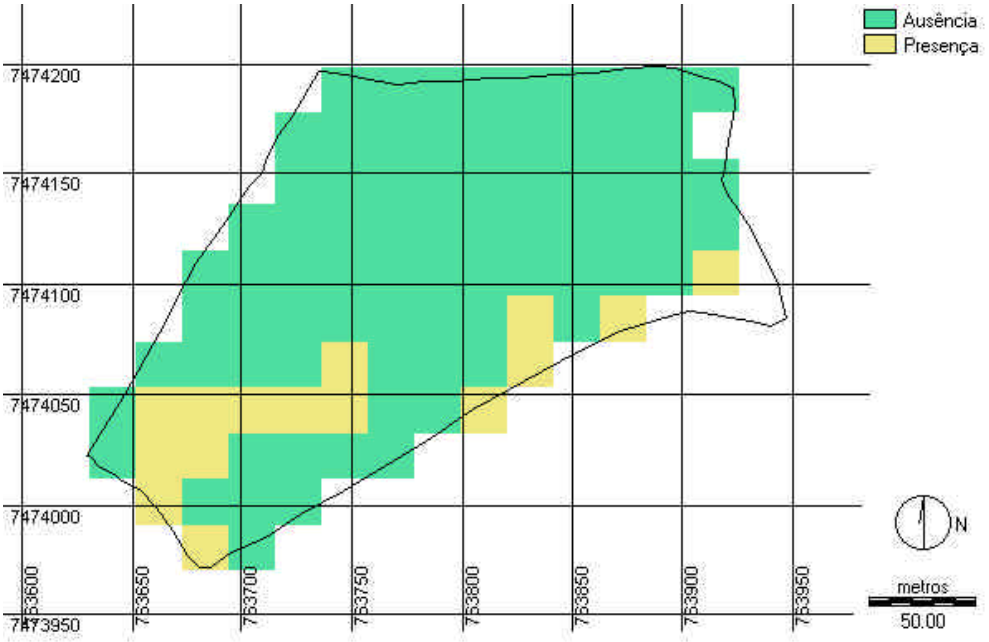

Figura 12 – Mapa das áreas de presença e ausência de sorgo-selvagem (*Sorghum arundinaceum*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

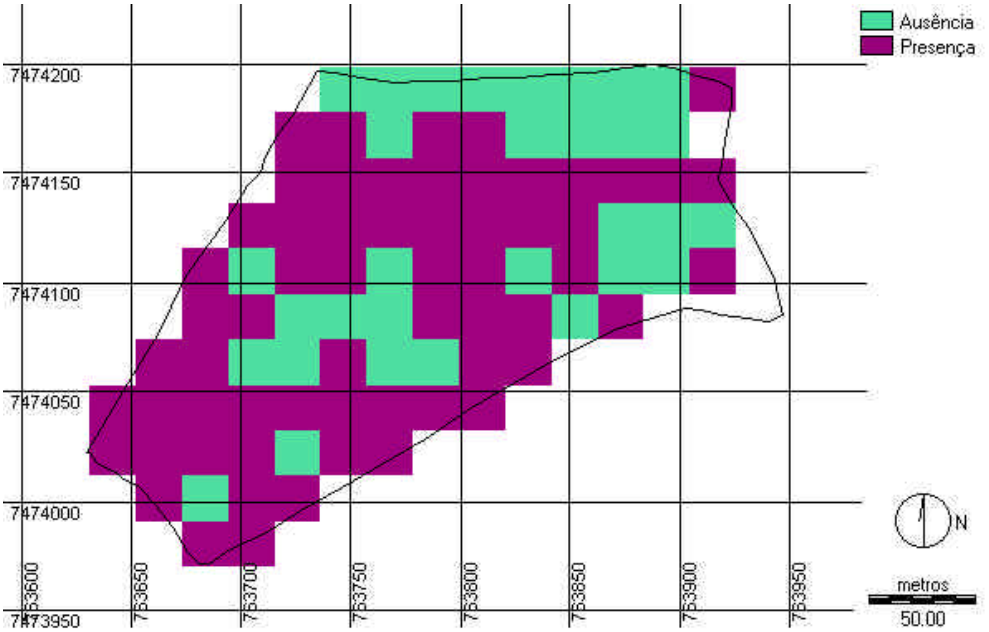

Figura 13 – Mapa das áreas de presença e ausência de monocotiledôneas obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

6.5.2 Mapas gerados pelo caminhamento no contorno das manchas

Houve muita dificuldade de se caminhar no contorno das manchas das plantas daninhas nesta época de mapeamento em função da elevada quantidade de biomassa vegetal sobre o solo e a elevada diversidade de espécies, que tornavam descontínuas as manchas.

A grande homogeneidade na cobertura das espécies dicotiledôneas resultou na não existência de manchas a serem mapeadas, podendo ser dito que a área toda era uma mancha única de dicotiledôneas, o que foi bem representado por seu mapa de presença e ausência (Figura 10). No entanto, as plantas de mamona (*Ricinus communis*) estavam agrupadas em regiões definidas e de formato regular dentro da área, sendo mapeadas como manchas, cuja posição é apresentada na Figura 14, o que mostrou a possibilidade de se utilizar esta metodologia de mapeamento de áreas de interesse de controle para algumas espécies de dicotiledôneas. Comparando a posição das manchas (Figura 14) e das áreas com presença de mamona (Figura 9) observou-se uma nítida sobreposição das mesmas, com superestimação da área infestada no método de mapeamento em grade de amostragem de 13%, uma vez que as manchas foram mapeadas em 2% da área, e a avaliação da presença resultou em 15% da área. Para diminuir esta superestimação da área amostrada existe a possibilidade de redução no tamanho da grade de amostragem, o que implica no aumento do trabalho e custo de mapeamento. Por outro lado, considerando a possibilidade de algumas manchas de mamona não terem sido mapeadas por falta de continuidade entre as plantas, pode então ter ocorrido uma subestimação da infestação pelo mapeamento das manchas em relação ao mapeamento por amostragem da presença.

As áreas com as manchas de capim-colonião (*Panicum maximum*), sorgo-selvagem (*Sorghum arundinaceum*) e monocotiledôneas (Figuras 15 a 17), correspondendo respectivamente a 7%, 18% e 19% da área total, foram mapeadas com maior facilidade pelo fato das plantas estarem muito mais agregadas que as dicotiledôneas. Pela comparação entre o posicionamento das manchas (Figuras 15 a 17) e das áreas com presença de capim-colonião, sorgo-selvagem e monocotiledôneas (Figuras 11 a 13), respectivamente 47%, 16% e 66% da área total, percebeu-se uma sobreposição muito boa para sorgo-selvagem.

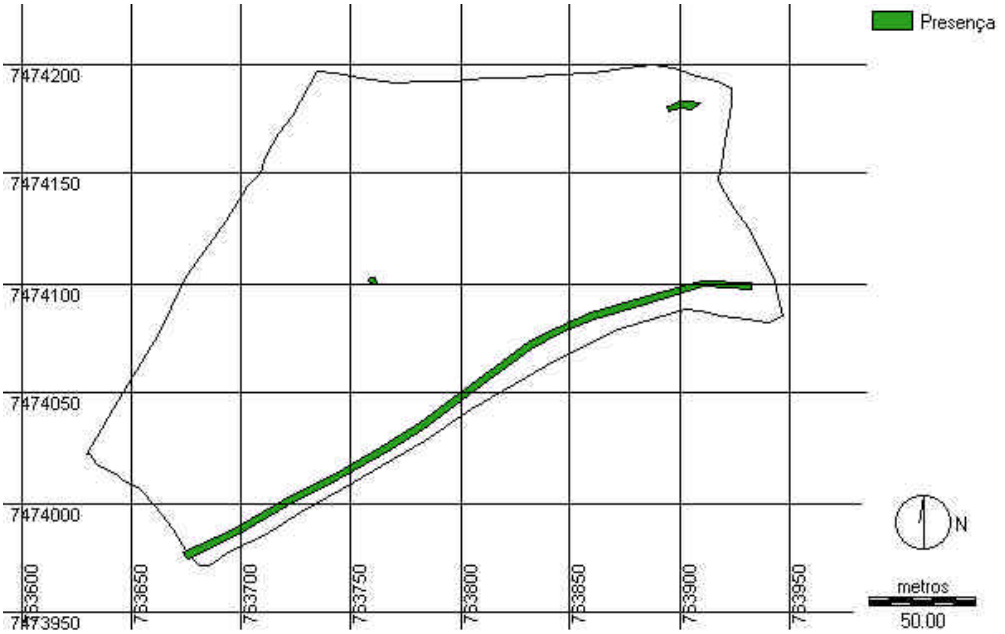

Figura 14 – Mapa das manchas de mamona (*Ricinus communis*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

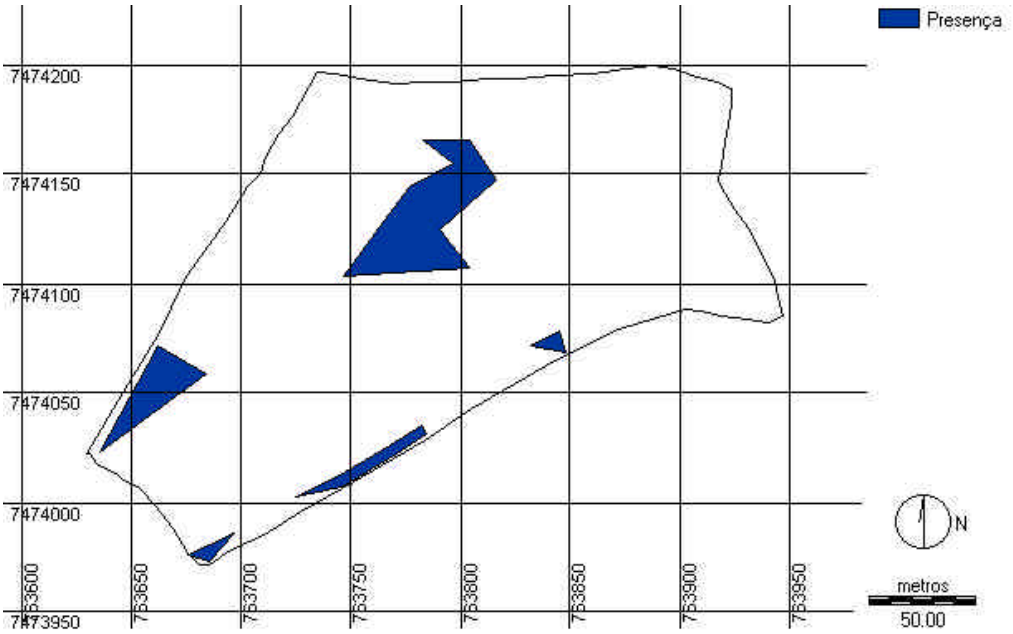

Figura 15 – Mapa das manchas de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

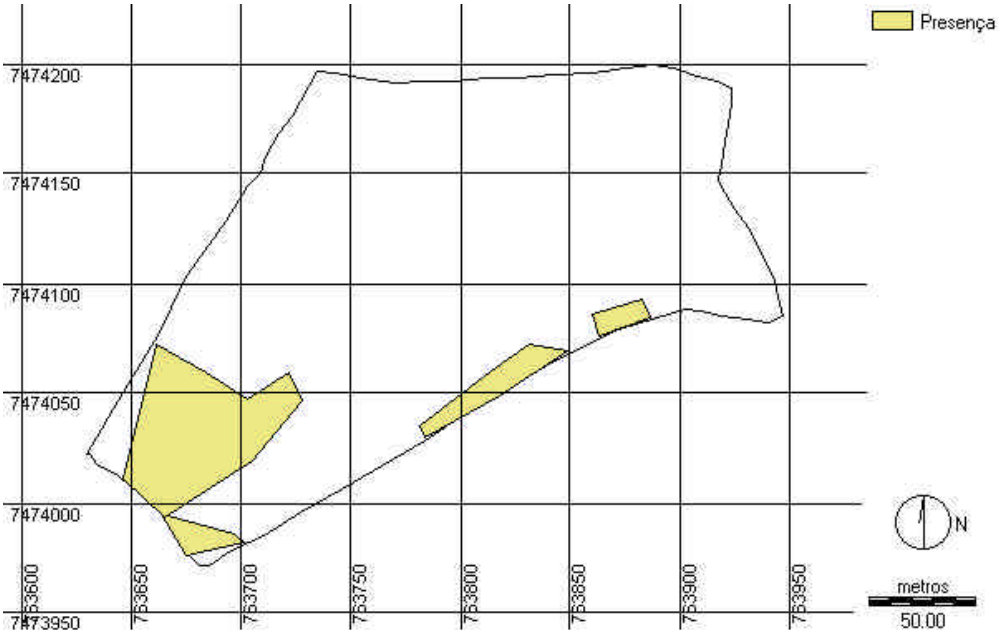

Figura 16 – Mapa das manchas de sorgo-selvagem (*Sorghum arundinaceum*) obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

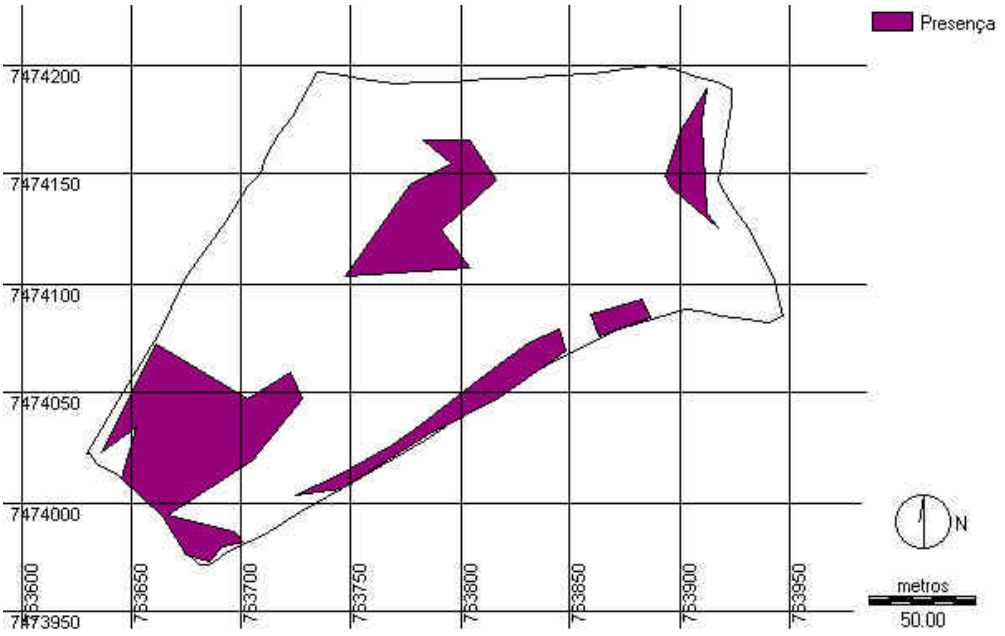

Figura 17 – Mapa das manchas de monocotiledôneas obtido antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

Porém para capim-colonião, que também influenciou no resultado das monocotiledôneas, a área foi subestimada em 40% pelo mapeamento das manchas, pois as manchas desta espécie mostraram continuidade e agregação apenas nas áreas centrais de presença do mapeamento em grades de amostragem.

É muito importante a definição do tamanho mínimo das manchas a serem mapeadas, o qual pode ser diferente em função da espécie e da infestação. As manchas de mamona mapeadas tinham largura ou diâmetro pouco maior que 2 metros, porém, foram consideradas como manchas pelo seu elevado grau de agrupamento e baixo nível de infestação na área, ou seja, de longe era possível observar as pequenas e isoladas manchas de mamona. No caso do capim-colonião, com manchas mais largas e com infestação mais elevada, apenas grandes porções eram consideradas como manchas, deixando-se de mapear manchas pequenas quando comparadas ao tamanho das manchas de mamona. Se estas pequenas manchas tivessem sido mapeadas, a subestimação de 40% da área de infestação de capim-colonião pelo mapeamento das manchas em relação ao mapeamento da presença e ausência poderia ter sido menor. No entanto, seria difícil mapear este grande número de pequenas manchas, uma vez que a quantidade de plantas isoladas de capim-colonião era elevada dentro da área, nesta época.

6.5.3 Mapas gerados pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude

As imagens obtidas nesta época foram realizadas com as câmeras fotográficas e com a câmera de vídeo. As Figuras 18 e 19 mostram as imagens digitalizadas de vídeo e fotografia.

Pela comparação da resolução obtida pelas imagens de vídeo e fotografia (Figuras 18 e 19), pôde-se observar que a obtenção de imagens a partir da digitalização de vídeo analógico não propiciou resultados satisfatórios, deixando-se assim de utilizá-la nas épocas seguintes de mapeamento. Este fato pode ser explicado pelo formato original das imagens (vídeo com 180x240 pixels e fotografias com 1745x1176 pixels). Após a digitalização das fotografias obtidas pelas câmeras mecânica e automática, não houve diferença na qualidade das imagens obtidas, permitindo o uso indiscriminado das câmeras.

Figura 18 – Imagem digitalizada de vídeo obtida antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

Figura 19 – Imagem digitalizada de fotografia obtida antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

Foi possível a visualização de algumas manchas de plantas daninhas nas imagens obtidas nesta época, como por exemplo uma mancha de mamona (*Ricinus communis*) no centro da Figura 19, confirmada pelo seu mapa de manchas (Figura 14). Entretanto, dada a condição extrema de seca e o estágio de desenvolvimento de algumas das espécies presentes, com plantas em processo de secamento natural pelo fim do ciclo, considera-se que a análise das imagens poderia ter resultado em melhor visualização se realizada mais cedo (por exemplo, com espécies de plantas daninhas em florescimento).

O resultado do processo de separação pela tonalidade da infestação realizado com auxílio do Adobe Photoshop é apresentado na Figura 20. Com a utilização deste programa não foi possível a visualização de manchas isoladas após o processamento da imagem, em função da similaridade na tonalidade de verde da infestação e sua distribuição em toda a área. Isto inviabilizou a construção de mapas de polígonos delimitados pelo contorno de manchas obtidas pelas imagens aéreas, nesta época.

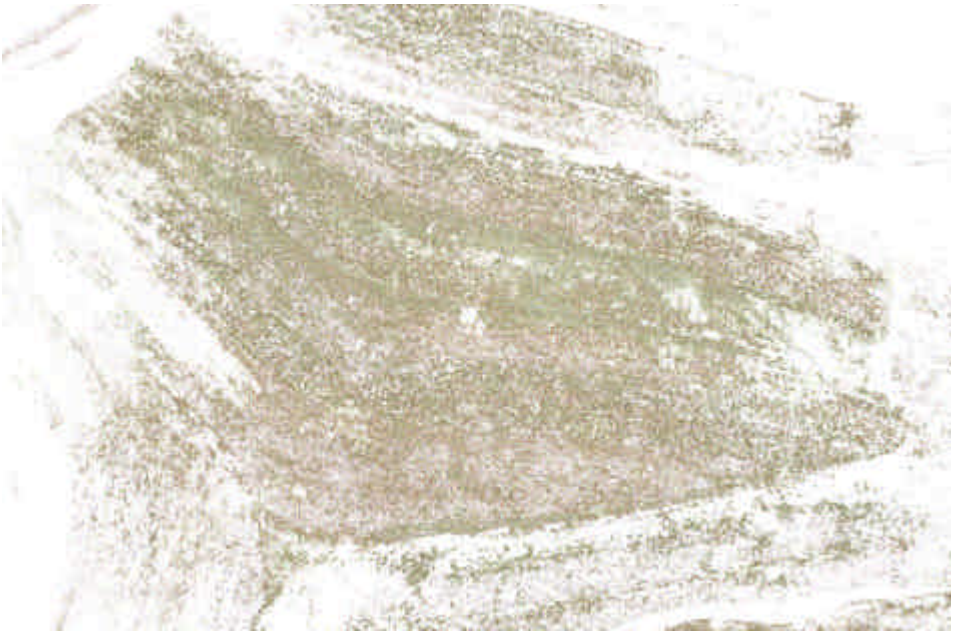

Figura 20 – Visualização após o processamento para separação da infestação na imagem digitalizada de fotografia obtida antes do manejo da vegetação de plantas daninhas para semeadura de milho (19/10/2000).

6.6 Mapas obtidos após a semeadura de milho

O mapeamento das plantas daninhas foi realizado 13 dias após a semeadura de milho, estádio fenológico 0 (Fancelli & Dourado Neto, 2000), época na qual havia um grande número de plântulas de diversas plantas daninhas emergindo sobre a área coberta pela matéria seca da parte aérea da vegetação espontânea manejada pelo triturador de palhas. Na área também havia uma elevada quantidade de rebrotamento de plantas daninhas com sistema radicular perenizado (por exemplo, capim-colonião (*Panicum maximum*) e sorgo-selvagem (*Sorghum arundinaceum*)).

6.6.1 Mapas gerados pelo caminhamento em grade de amostragem

A avaliação da presença e ausência de plantas daninhas foi realizada para as principais espécies encontradas na área, sendo apresentados os mapas das áreas de presença e ausência de dicotiledôneas, capim-colonião e monocotiledôneas (Figura 21 a 23).

A distribuição uniforme das dicotiledôneas foi mais uma vez confirmada por sua presença em 100% da área (Figura 21), da mesma maneira que a infestação de capim-colonião (Figura 22) mostrou-se presente em algumas porções da área (46%), como observado na mesma modalidade de mapeamento realizado antes da semeadura, no qual as dicotiledôneas tinham presença em 99% da área (Figura 10), e o capim-colonião, em 47% (Figura 11). Esta é uma observação interessante quando se procura identificar áreas de interesse de controle de plantas daninhas, pois os mapeamentos realizados em épocas diferentes resultaram na mesma quantidade de área infestada (ao redor de 46% de capim-colonião). Apesar desse dado ser importante, mais interessante seria a quantificação da área comum à infestação de capim-colonião nas diferentes épocas de mapeamento, o que mostraria os locais onde a infestação permaneceu na mesma posição. Com o uso do IDRISI para sobrepor os mapas das áreas de presença e ausência de capim-colonião obtidos antes (Figura 11) e depois da semeadura (Figura 22) foi possível calcular a área comum de presença dessa planta daninha, que foi de 31% do total da área experimental (que equivale a 68% dos 47% da área de presença avaliada com capim-colonião nesta época).

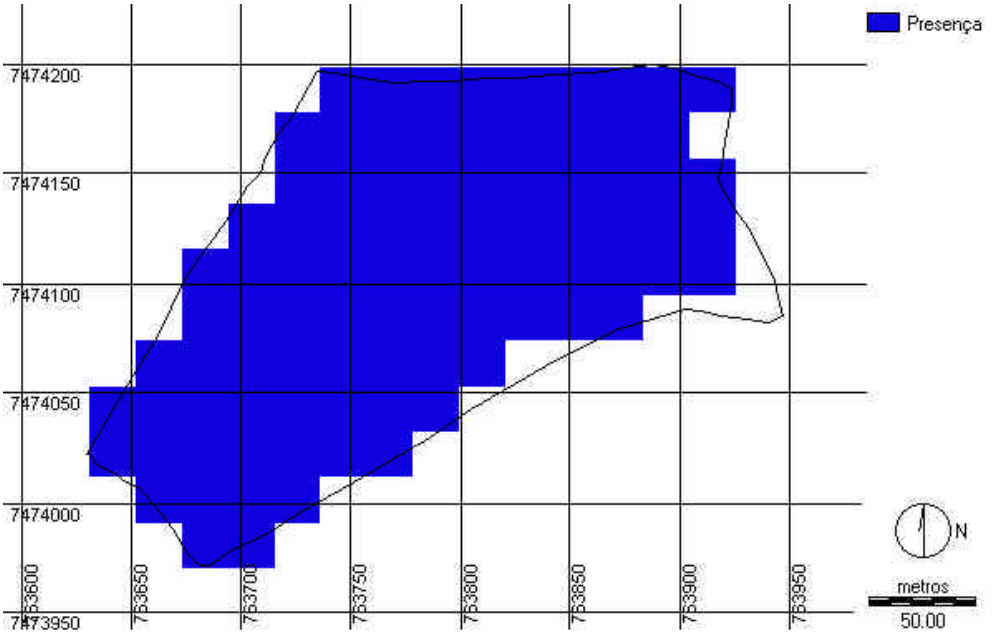

Figura 21 – Mapa das áreas de presença e ausência de dicotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000).

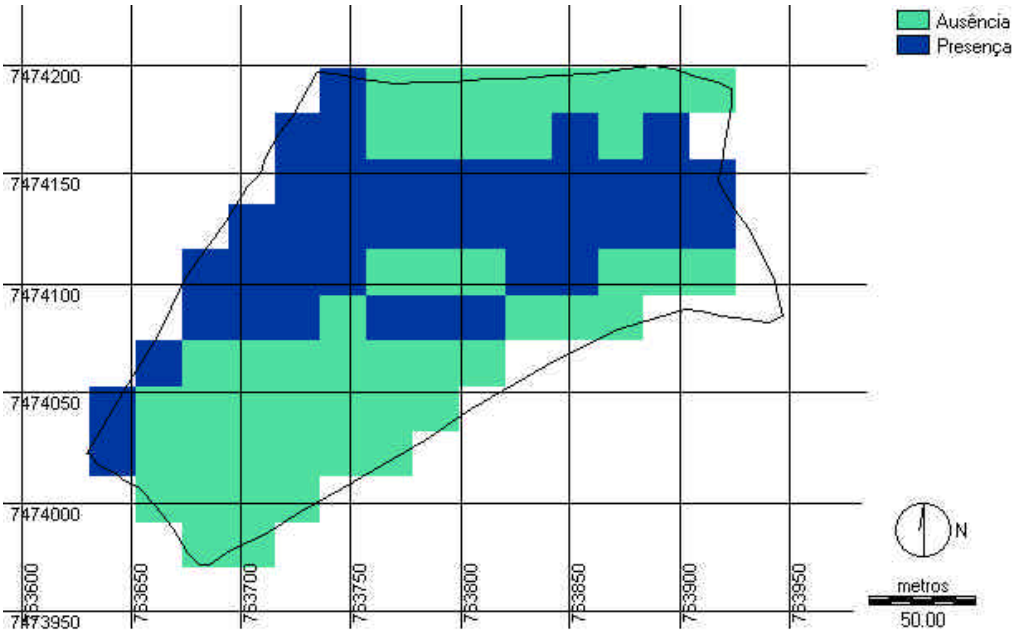

Figura 22 – Mapa das áreas de presença e ausência de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido após a semeadura de milho (20/12/2000).

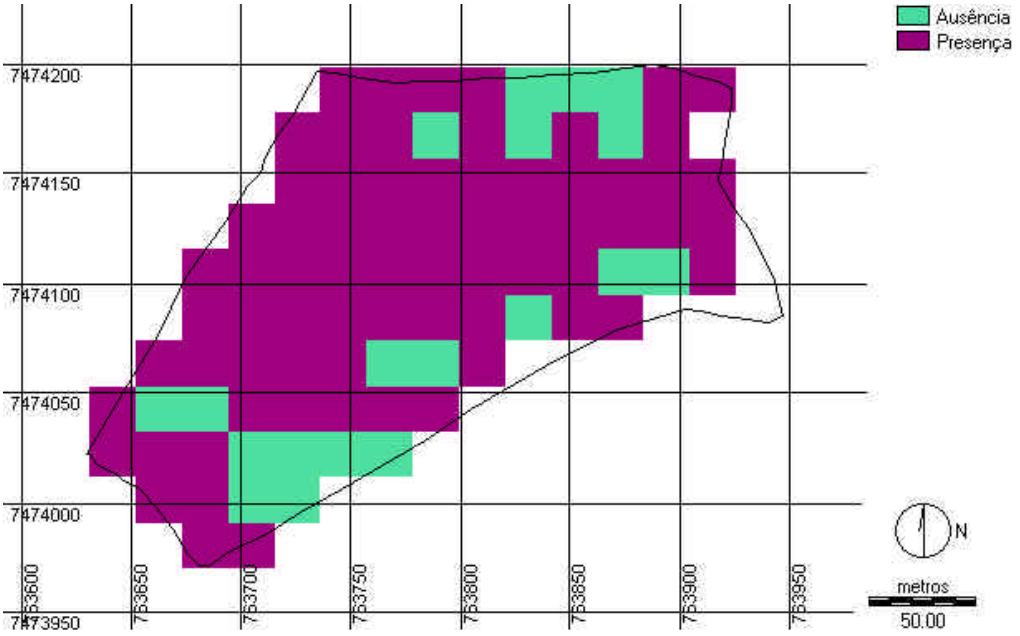

Figura 23 – Mapa das áreas de presença e ausência de monocotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000).

Pela avaliação da presença das monocotiledôneas obteve-se uma área de 79% de infestação (Figura 23), resultado da diversidade de espécies amostradas.

A avaliação da porcentagem de cobertura foi realizada para as infestações de capim-colonião, mono e dicotiledôneas.

Com as porcentagens de cobertura das espécies de plantas daninhas sobre cada um dos 101 pontos da grade de amostragem foram elaboradas classes de porcentagens de cobertura para melhor representar as infestações, facilitando a visualização de possíveis tendências de agregação em algumas posições do campo. As classes foram: 0, 1-20, 21-40, 41-60, 61-80, 81-100%

Os mapas com a porcentagem de cobertura e as classes de porcentagem de cobertura de dicotiledôneas são apresentados nas Figuras 24 e 25. Apesar de sua presença em toda a área, com a avaliação da porcentagem de cobertura é possível observar que a distribuição das dicotiledôneas não é tão uniforme, ocorrendo uma maior agregação nos locais mais escuros das Figuras 24 e 25. O menor valor encontrado para a cobertura das dicotiledôneas foi de 30%, ou seja, da grade de amostragem de aproximadamente 400m^2, 120m^2 estavam cobertos por esta classe de plantas daninhas, sendo 100% o maior valor.

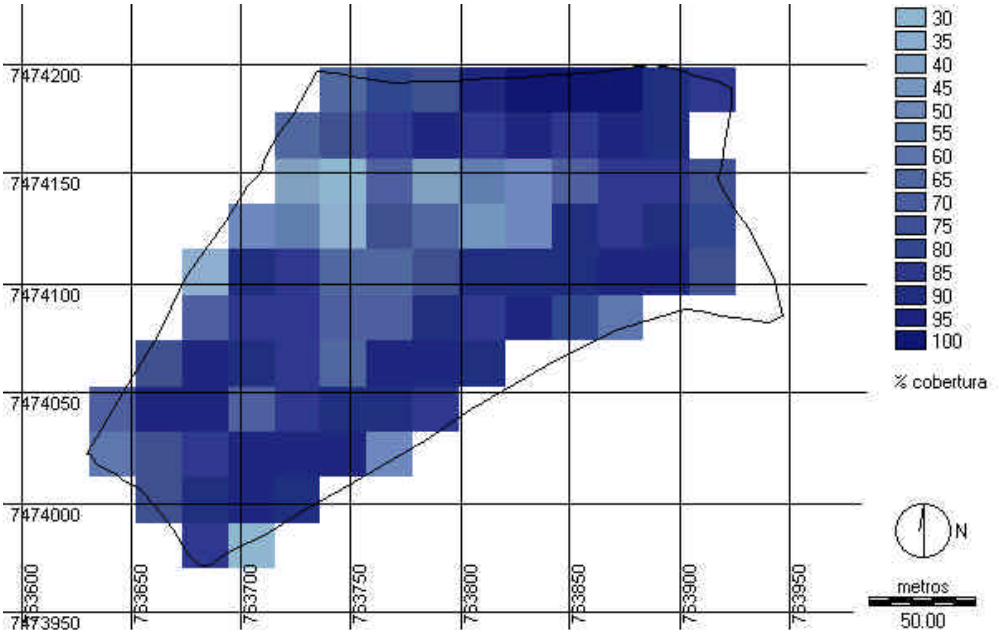

Figura 24 – Mapa das porcentagens de cobertura de dicotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000).

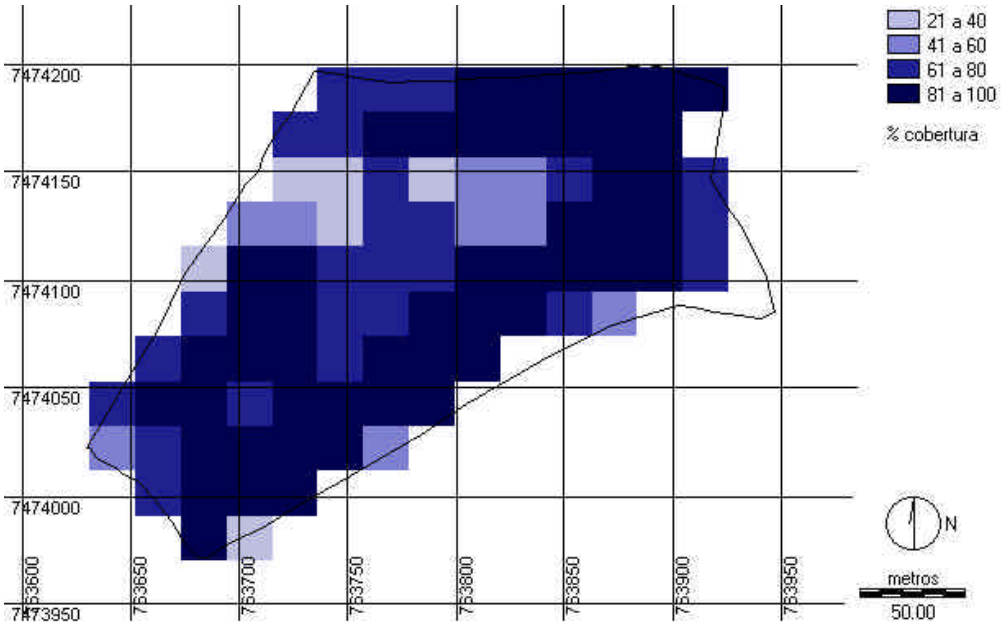

Figura 25 – Mapa das classes de porcentagem de cobertura de dicotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000).

Os mapas com as porcentagens de cobertura e as classes de porcentagem de cobertura de capim-colonião são apresentados nas Figuras 26 e 27, e de monocotiledôneas, nas Figuras 28 e 29. Além da infestação de capim-colonião estar presente numa pequena porção da área, os valores de cobertura dessas áreas não passam de 60%, havendo assim uma superestimação da infestação quando se avalia apenas a área total com sua presença. O padrão de distribuição das monocotiledôneas (Figuras 28 e 29) sofre uma grande influencia da infestação de capim-colonião (Figuras 26 e 27), mantendo seus locais de maior cobertura.

Os dados da avaliação da porcentagem de cobertura das mono e dicotiledôneas testados pelo SAS apresentaram distribuição não normal pelo teste de Shapiro Wilk (Quadro 5), sendo assim aplicada a transformação logarítmica com ln(Z+1). Pela análise dos semivariogramas foram ajustados os modelos para as mono e dicotiledôneas (Figura 30), e seus parâmetros são apresentados no Quadro 6. Após a realização da krigagem das porcentagens de cobertura foram obtidas correlações entre valores observados no campo e valores preditos pela interpolação (0,73 para monocotiledôneas e 0,61 para dicotiledôneas).

A melhor maneira de se visualizar a distribuição é obtida pelos mapas da interpolação por krigagem das porcentagens de cobertura apresentados nas Figuras 31 e 32, onde os locais mais escuros representam as áreas de maior cobertura de plantas daninhas, que acabam por demonstrar uma tendência de agregação em mancha, principalmente no caso das monocotiledôneas.

Quadro 5 – Valores resultantes do teste de Shapiro Wilk aplicado aos valores de porcentagem de cobertura de mono e dicotiledôneas obtidos após a semeadura de milho (20/12/2000).

Classe	W	S	K
Monocotiledôneas	0,82*	1,37	1,33
Dicotiledôneas	0,87*	-1,08	0,42

(*) 1% de significância; (W) Teste de Shapiro Wilk; (S) coeficiente de assimetria; (K) coeficiente de curtose.

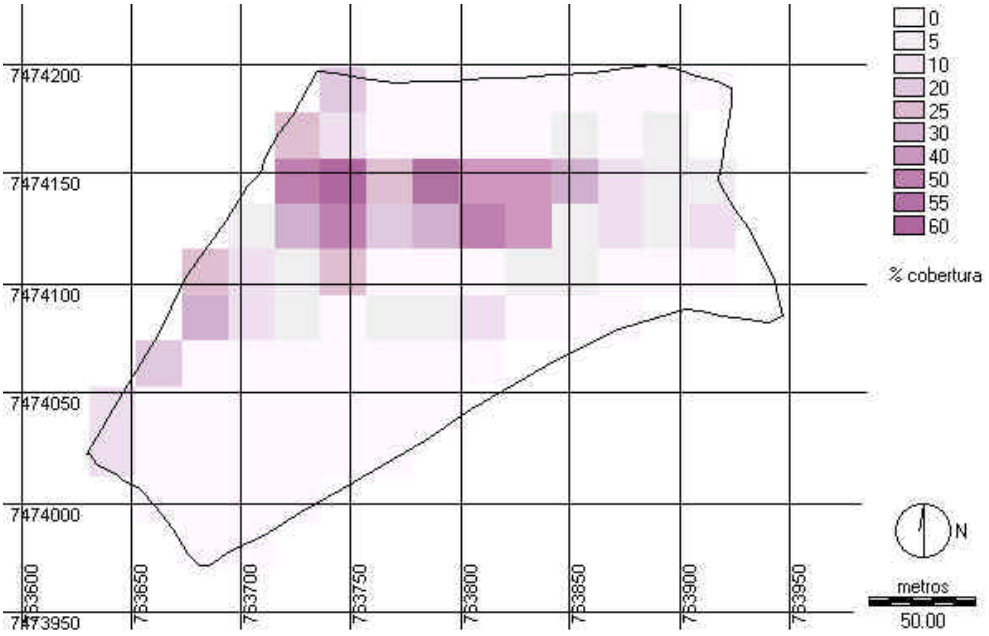

Figura 26 – Mapa das porcentagens de cobertura de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido após a semeadura de milho (20/12/2000).

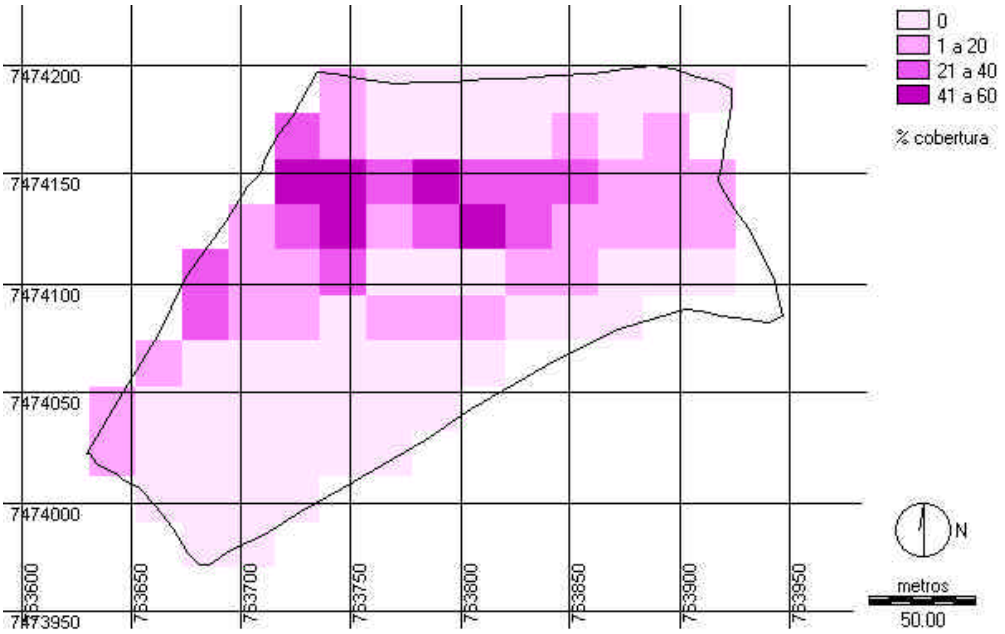

Figura 27 – Mapa das classes de porcentagem de cobertura de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido após a semeadura de milho (20/12/2000).

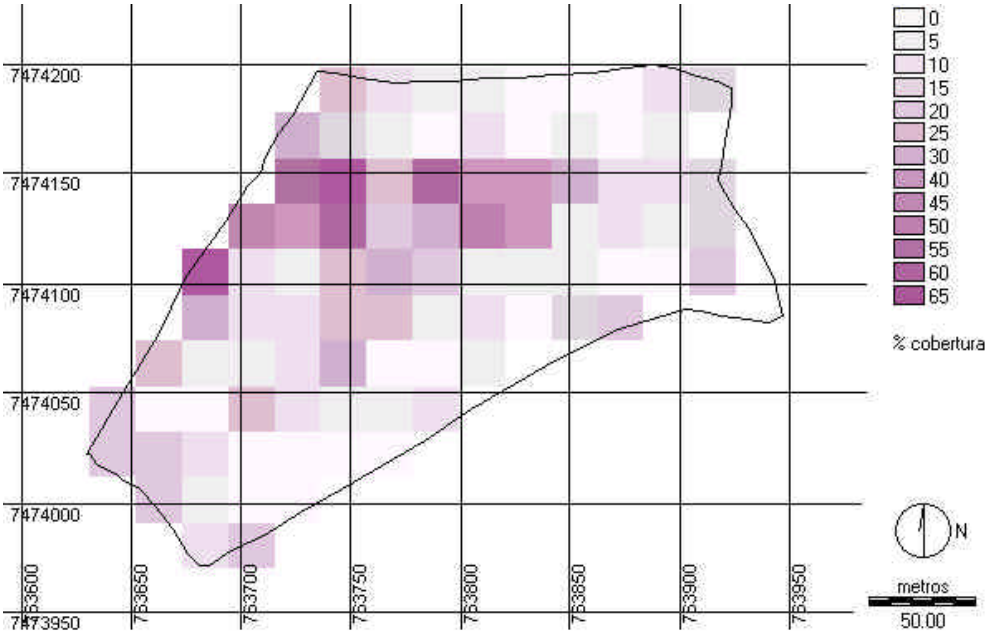

Figura 28 – Mapa das porcentagens de cobertura de monocotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000).

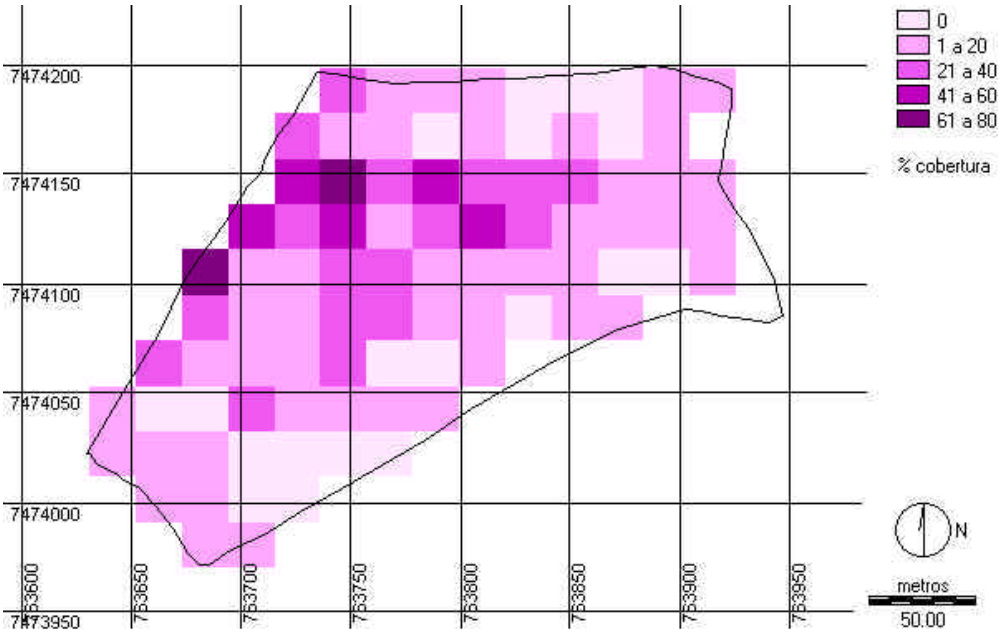

Figura 29 – Mapa das classes de porcentagem de cobertura de monocotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000).

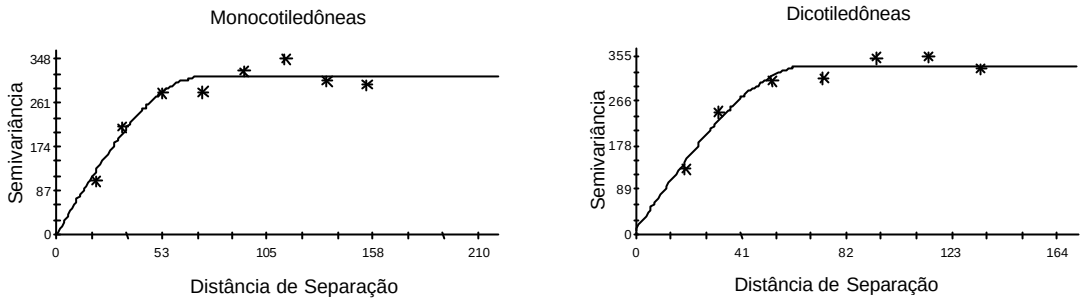

Figura 30 – Semivariogramas ajustados para os valores de porcentagem de cobertura de mono e dicotiledôneas obtidos após a semeadura de milho (20/12/2000).

Quadro 6 – Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os valores de porcentagem de cobertura de mono e dicotiledôneas obtidos após a semeadura de milho (20/12/2000).

Classe	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	r^2
Monocotiledôneas	Esférico	0,10	311,20	71,10	0,929
Dicotiledôneas	Esférico	7,00	337,50	67,30	0,963

A avaliação da densidade populacional de plantas daninhas da área foi realizada em 10 dos 101 pontos da grade de amostragem da área, sendo julgado inviável que se continuasse a contagem das plântulas para toda a área, uma vez que o resultado médio da densidade de dicotiledôneas era de 1460 plantas.m^{-2}, valor muito superior ao nível econômico limite de controle utilizado por Nordmeyer et al. (1997), especificado em 20 plantas.m^{-2} para monocotiledôneas e 40 plantas.m^{-2} para dicotiledôneas. Este resultado é fruto da característica do manejo da área experimental, conduzida com vegetação espontânea de plantas daninhas para formação de palha para proteção do solo e semeadura direta, o que colabora para o aumento do banco de sementes de plantas daninhas, ao ponto de se adotar como áreas de interesse de controle de plantas daninhas todos os locais onde elas forem encontradas.

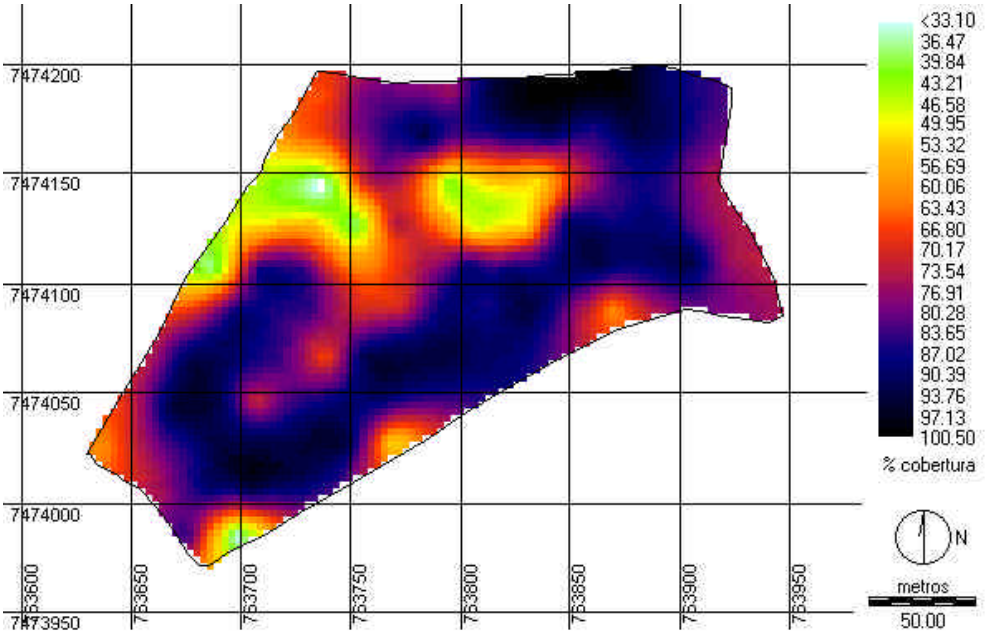

Figura 31 – Mapa da interpolação por krigagem das porcentagens de cobertura de dicotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000).

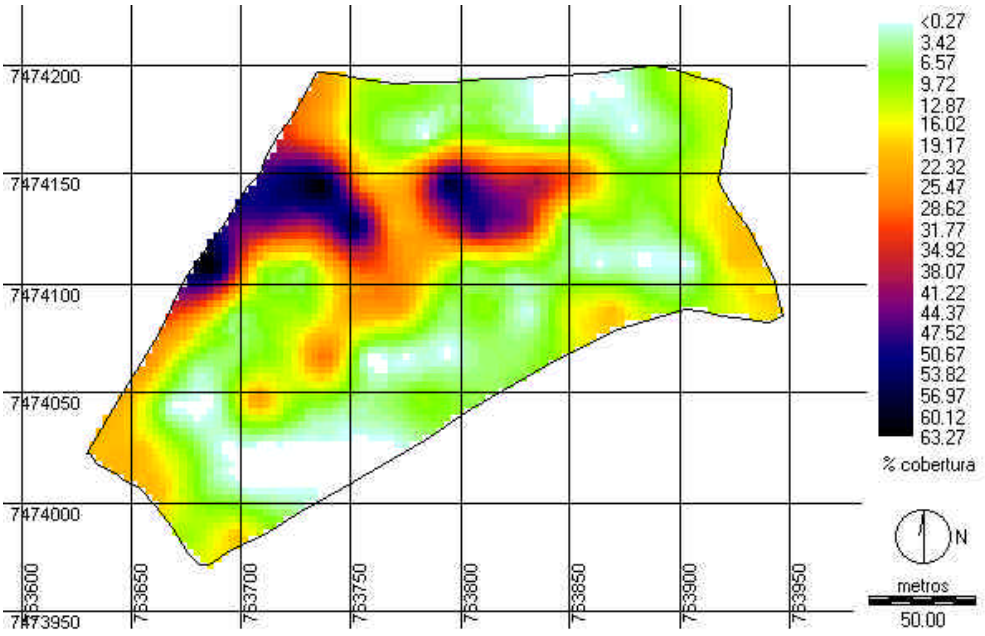

Figura 32 – Mapa da interpolação por krigagem das porcentagens de cobertura de monocotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000).

6.6.2 Mapas gerados pelo caminhamento no contorno das manchas

O mapeamento das manchas foi realizado para as principais espécies encontradas na área, sendo mostrados os mapas das manchas de capim-colonião (*Panicum maximum*) e monocotiledôneas (Figuras 33 e 34). A mancha mapeada pelo caminhamento no contorno da infestação de capim-colonião (Figura 33), correspondendo a 29% da área experimental, apresentou uma sobreposição de 90% sobre as áreas de presença de capim-colonião mapeadas pelo caminhamento em grade de amostragem nesta época (Figura 22), o que mostra o nível de agregação das plantas de capim-colonião, uma vez que os locais onde estas plantas estão presentes correspondem a uma mancha com continuidade e limites visíveis. A mesma comparação pode ser feita entre o mapa da mancha (Figura 33) e o mapa de classes de porcentagem de cobertura de capim-colonião (Figura 27) obtidos nesta fase, onde a área de infestação tende a ser semelhante e representativa para qualquer modalidade de mapeamento.

Das manchas de monocotiledôneas mapeadas (Figura 34), correspondendo a 33% da área, a maior é a representada pelo capim-colonião. Numa comparação entre este mapa e o mapa de interpolação por krigagem da porcentagem de cobertura de monocotiledôneas (Figura 32), observa-se que a tendência da distribuição é muito semelhante. É possível visualizar um contorno no mapa de interpolação que divide as infestações com coberturas inferior e superior a 16%, sendo a forma da área de maior infestação (classe que vai de 16 a 63%) muito parecida com a mancha obtida na Figura 34. Esta classe de maior infestação representa 28% da área total, valor muito próximo aos 33% das manchas mapeadas, com sobreposição de 70% entre elas.

As dicotiledôneas, da mesma maneira que na época anterior, apresentaram uma distribuição homogênea sobre a área e não em manchas como ocorreu no caso das monocotiledôneas.

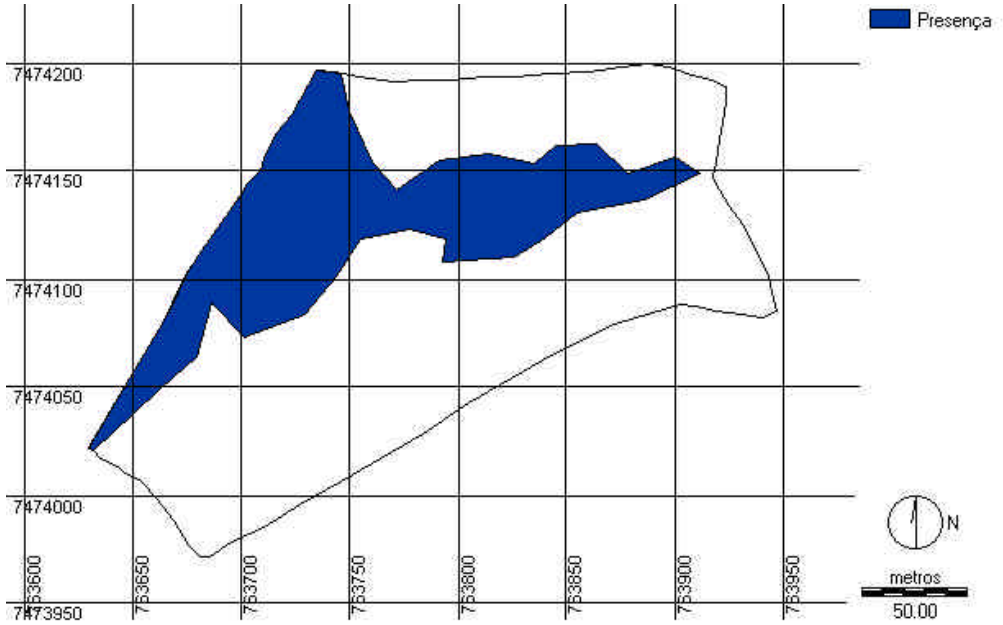

Figura 33 – Mapa das manchas de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido após a semeadura de milho (20/12/2000).

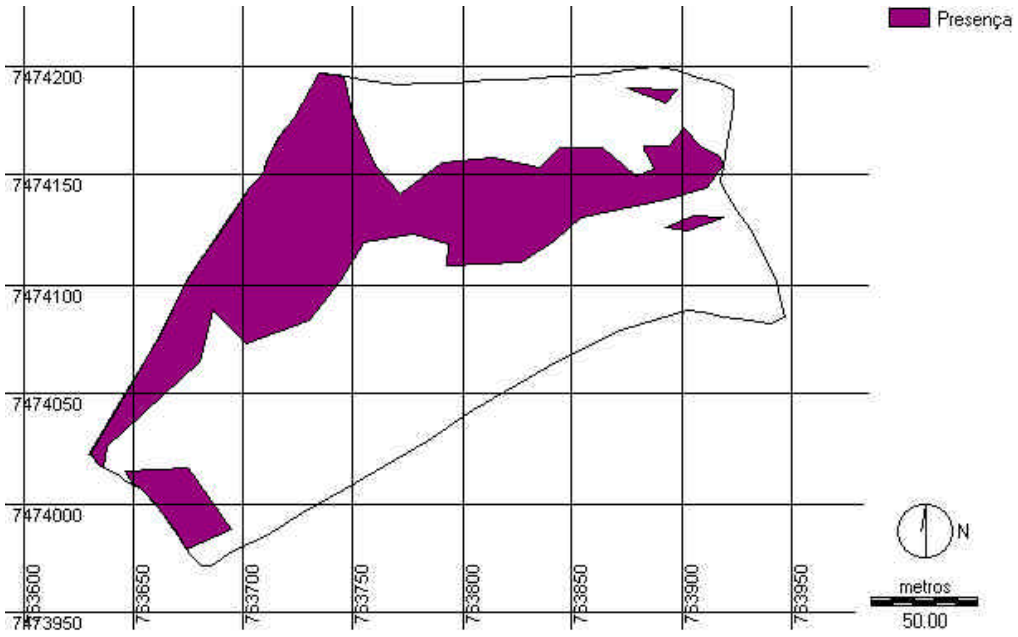

Figura 34 – Mapa das manchas de monocotiledôneas obtido após a semeadura de milho (20/12/2000).

6.6.3 Mapas gerados pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude

As imagens obtidas nesta época foram realizadas com as câmeras fotográficas (Figura 35) e com a câmera digital. A visualização das imagens da câmera digital e das fotografias digitalizadas foi equivalente na tela do computador, porém a resolução das fotografias originais em papel fotográfico mostrou-se muito superior à das imagens da câmera digital, sendo a melhor opção para análise das imagens aéreas, e por isso adotada nas épocas seguintes.

Após a semeadura de milho sobre a palhada manejada com o triturador de palha, todas as plântulas apresentaram a mesma tonalidade de verde claro sobre uma palhada clara, o que dificultou a visualização das plantas daninhas. A utilização do Adobe Photoshop na tentativa de separar as possíveis manchas não foi eficaz na obtenção de áreas de interesse de controle.

Apesar do mapeamento pelo caminhamento em grades de amostragem ter mostrado a presença de plântulas de plantas daninhas após a semeadura de milho, as fotografias aéreas convencionais não possibilitam a sua visualização, concordando com os resultados obtidos por Lamb et al. (1999), que sugerem a utilização de fotografias não convencionais (vermelho e infravermelho) e posterior criação de Índices Normalizados de Vegetação (NDVI) para discriminar as áreas de interesse.

Figura 35 – Imagem digitalizada de fotografia obtida após a semeadura de milho (20/12/2000).

6.7 Mapas obtidos antes e durante a colheita de milho

O mapeamento pela análise de imagens aéreas foi realizado 8 dias antes da colheita, e o mapeamento pelo deslocamento da colhedora, no dia da colheita de milho (18/05/2001). Nesta época a condição para o mapeamento de plantas daninhas foi muito peculiar. A cultura de milho encontrava-se no estádio fenológico 10 (Fancelli & Dourado Neto, 2000), evidenciado pela maturidade fisiológica dos grãos, com folhas e caules secos em processo natural de senescência caracterizado pela perda da coloração verde característica, enquanto as plantas daninhas encontravam-se em estádio vegetativo, com folhas bem verdes se destacando visualmente no meio das plantas de milho.

A elevada infestação de plantas daninhas no final do ciclo da cultura de milho é uma característica específica do manejo adotado nesta área experimental (plantio direto sobre vegetação espontânea), o que colaborou para a obtenção dos resultados aqui apresentados.

6.7.1 Mapas gerados pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude

As imagens obtidas nesta época foram realizadas com as câmeras fotográficas. A visualização de uma fotografia digitalizada obtida nesta época é apresentada na Figura 36. As áreas de interesse de controle de plantas daninhas puderam ser identificadas visualmente pela formação de manchas de monocotiledôneas (formada principalmente de capim-colonião (*Panicum maximum*)) com características de coloração muito contrastantes à cultura no final de seu ciclo, sendo até então, a melhor época de mapeamento pela análise de imagens aéreas. Este fato concorda tanto com as afirmações de Clay & Johnson (1999), que sugerem a realização de imagens no outono, época na qual é possível visualizar a coloração verde das plantas daninhas (principalmente as perenes) na cultura em senescência, quanto com a definição de Stafford (1993) sobre a necessidade da escolha do melhor momento do ciclo da cultura para obter imagens que permitam o mapeamento de plantas daninhas.

Na Figura 37 são mostrados os pontos de coordenadas conhecidas utilizados no georreferenciamento. O Adobe Photoshop foi utilizado no processo de separação

pela tonalidade da infestação, facilitando a visualização das manchas de plantas daninhas da área, resultando na imagem apresentada na Figura 38. No mesmo programa obteve-se uma imagem com o contorno das manchas (Figura 39), a qual foi utilizada pelo IDRISI para elaborar os polígonos delimitados pelo contorno das manchas (Figura 40), até a elaboração do mapa das manchas georreferenciadas de monocotiledôneas (Figura 41) que cobriram 26% da área, sendo representadas principalmente pelo capim-colonião.

Figura 36 – Imagem digitalizada de fotografia obtida antes da colheita de milho (10/05/2001).

Figura 37 – Visualização de pontos de coordenadas conhecidas na imagem digitalizada de fotografia obtida antes da colheita de milho (10/05/2001).

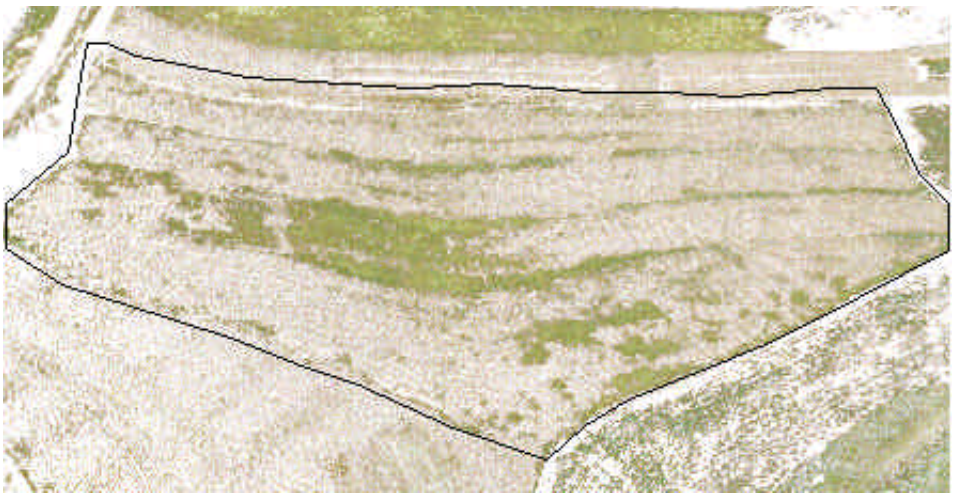

Figura 38 – Visualização das manchas após o processamento para separação da infestação da imagem digitalizada de fotografia obtida antes da colheita de milho (10/05/2001).

Figura 39 – Visualização do contorno das manchas após o processamento para separação da infestação da imagem digitalizada de fotografia obtida antes da colheita de milho (10/05/2001).

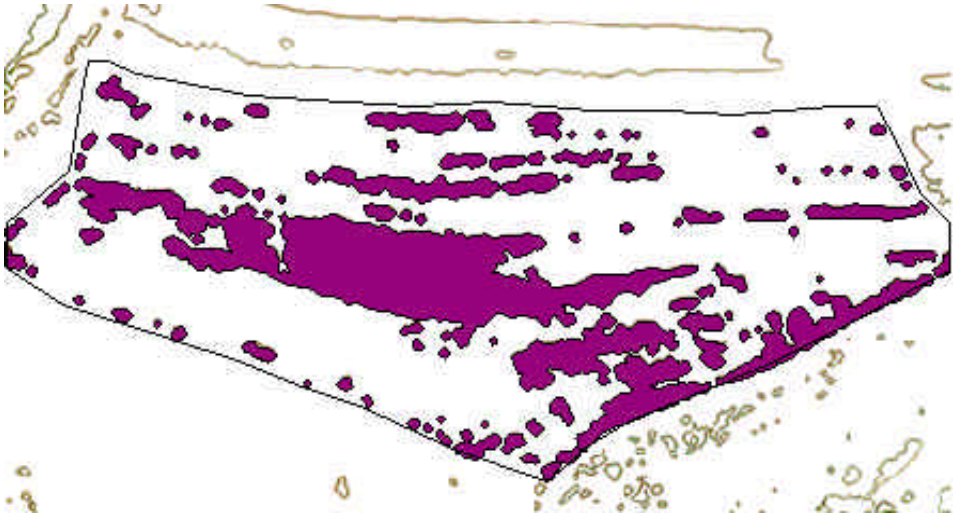

Figura 40 – Visualização dos polígonos das manchas após o processamento para separação da infestação a partir da imagem digitalizada de fotografia obtida antes da colheita de milho (10/05/2001).

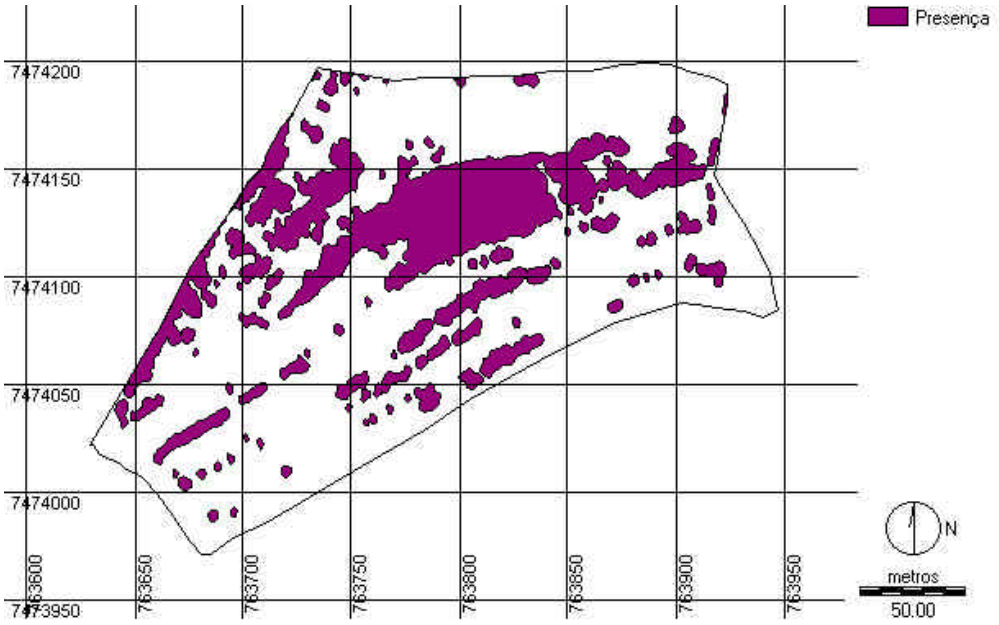

Figura 41 – Mapa das manchas de monocotiledôneas pela análise de imagem aérea obtida antes da colheita de milho (10/05/2001).

6.7.2 Mapas gerados pelo deslocamento da colhedora no campo

As manchas das monocotiledôneas, representadas principalmente pelo capim-colonião (*Panicum maximum*), foram facilmente visualizadas da colhedora, devido ao porte ereto das plantas de milho e do espaçamento entre linhas da cultura (0,90m) que permitiram a exposição do solo no espaço entre as linhas.

Houve tempo hábil, durante o intervalo de entrada e saída de cada mancha, para registrar adequadamente o início e o término da aquisição de dados da posição da colhedora pelo coletor do DGPS.

Após a colheita, o equipamento foi conectado ao computador para transferência dos dados armazenados, para a realização de seu pós processamento. Parte do arquivo obtido durante a colheita foi corrompido (Figura 42), apresentando problemas nas coordenadas, e parte não conseguiu ser transferido do coletor para o computador. Apesar das tentativas realizadas pelos técnicos responsáveis pelo suporte técnico do equipamento, os dados gerados foram perdidos, inviabilizando o mapeamento por essa metodologia.

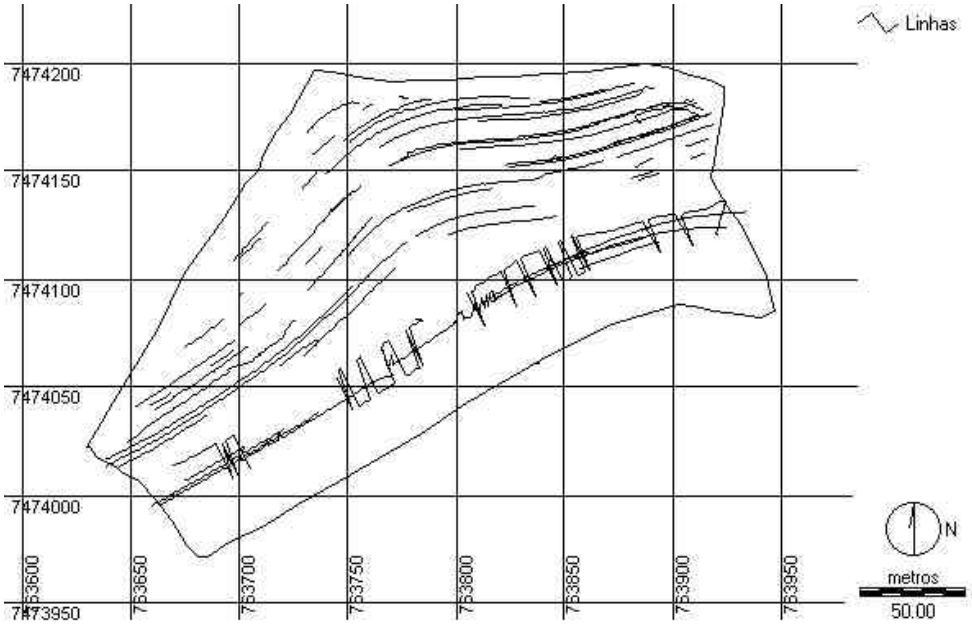

Figura 42 – Mapa corrompido das linhas com monocotiledôneas obtido durante a colheita de milho (18/05/2001).

6.8 Mapas obtidos após a colheita de milho

Doze dias após a colheita de milho foi a época da realização dos mapeamentos. As plantas daninhas observadas antes da colheita foram cortadas pela plataforma de corte da colhedora de milho, com exceção das plantas presentes sobre os terraços em nível.

6.8.1 Mapas gerados pelo caminhamento em grade de amostragem

A avaliação da presença e ausência de dicotiledôneas, capim-colonião (*Panicum maximum*) e monocotiledôneas é apresentada pelos mapas das Figuras 43 a 45. A distribuição das dicotiledôneas foi uniforme, caracterizada por sua presença em 94% da área. Entretanto, o capim-colonião e as monocotiledôneas, que estavam presentes em apenas algumas partes da área nos mapeamentos anteriores, tiveram uma distribuição muito semelhante à das dicotiledôneas, com presença em 94% e 98% da área, respectivamente.

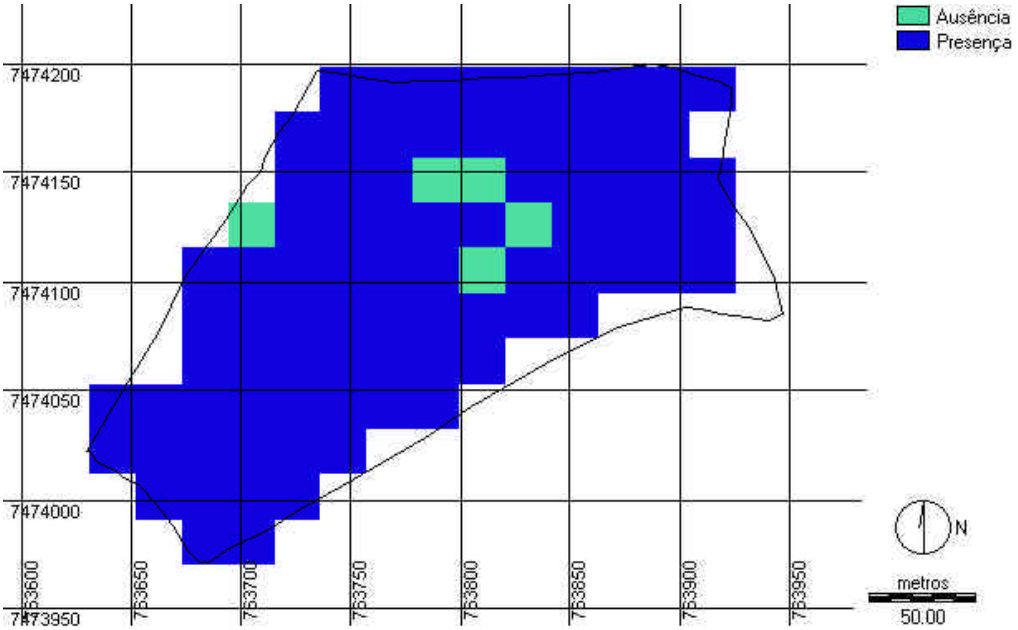

Figura 43 – Mapa das áreas de presença e ausência de dicotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001).

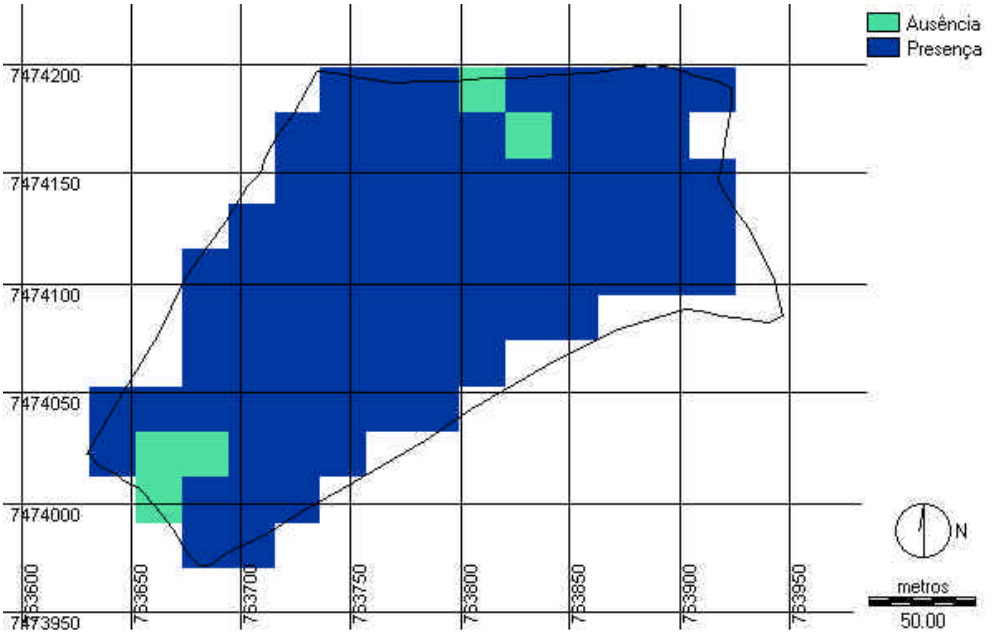

Figura 44 – Mapa das áreas de presença e ausência de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido após a colheita de milho (30/05/2001).

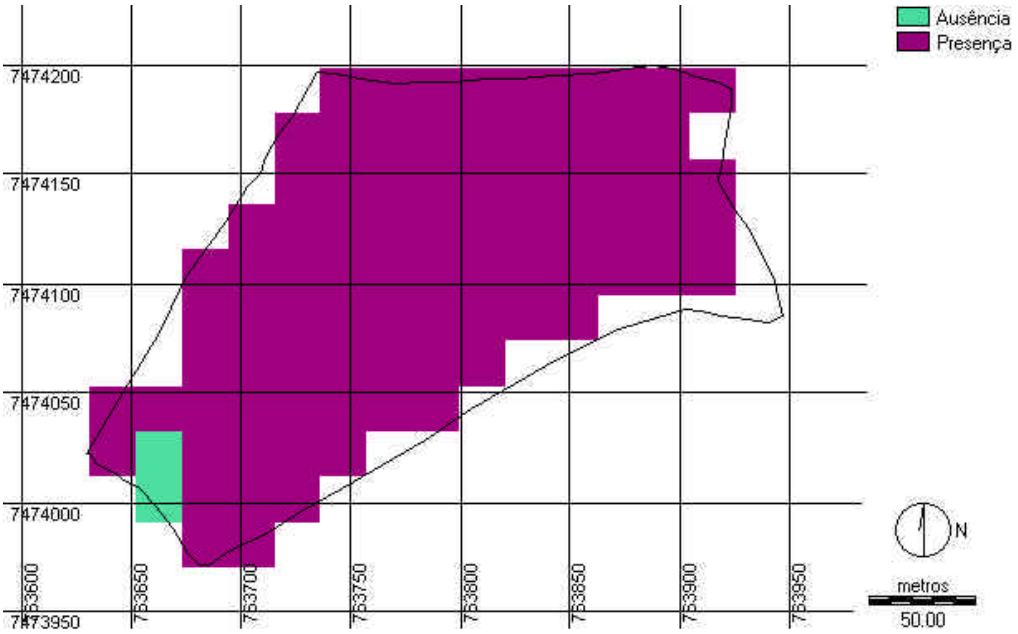

Figura 45 – Mapa das áreas de presença e ausência de monocotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001).

A avaliação da porcentagem de cobertura foi realizada para as principais espécies de plantas daninhas infestantes, sendo apresentados os resultados obtidos para capim-colonião, mono e dicotiledôneas, todas com valores de porcentagem de cobertura, encontrados nos levantamentos, variando de 0 até 100%. Considerando-se que a visualização dos resultados é simplificada pelos mapas das classes de porcentagem de cobertura e pelos mapas da interpolação por krigagem da porcentagem de cobertura, somente estes foram apresentados.

As Figuras 46 e 47 mostram o resultado do mapeamento da porcentagem de cobertura de dicotiledôneas, respectivamente pelo mapa das classes e pelo mapa da interpolação por krigagem. Os mapas demonstram que existe uma tendência de agregação dessas plantas, representadas pelas porções escuras dos mapas, locais onde as dicotiledôneas praticamente cobrem toda a área. Este tipo de avaliação fornece mais detalhes sobre a infestação das dicotiledôneas quando comparados com o critério de presença e ausência (Figura 43), que pode superestimar a área com plantas daninhas se a grade de amostragem tiver tamanho muito elevado.

Os mapas das classes de porcentagem de cobertura de capim-colonião e monocotiledôneas são apresentados pelas Figuras 48 e 49, respectivamente. Comparando os mapas é possível observar uma similaridade muito grande entre eles, uma vez que o capim-colonião é a principal espécie de monocotiledônea encontrada na área. O mapa da interpolação por krigagem da porcentagem de cobertura de monocotiledôneas (Figura 50) fornece uma melhor visualização da tendência de formação de manchas, mostrando que o mapeamento pelo caminhamento em grade de amostragem também possibilita o estudo da distribuição espacial das manchas de plantas daninhas.

A distribuição dos dados da avaliação da porcentagem de cobertura das mono e dicotiledôneas testados pelo SAS foi não normal pelo teste de Shapiro Wilk (Quadro 7), sendo assim aplicada a transformação logarítmica com ln(Z+1). O ajuste do semivariograma das mono e dicotiledôneas (Figura 51) resultou num modelol com os mesmos parâmetros, os quais são apresentados no Quadro 8. Após a realização da krigagem das porcentagens de cobertura foram obtidas correlações entre valores observados no campo e valores preditos pela interpolação (0,64 para mono e dicotiledôneas).

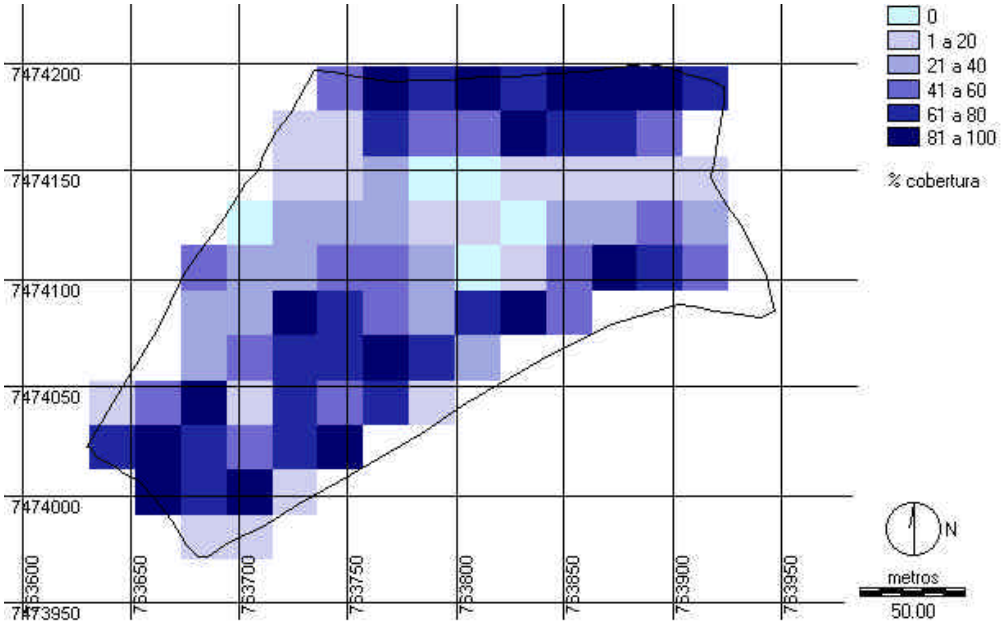

Figura 46 – Mapa das classes de porcentagem de cobertura de dicotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001).

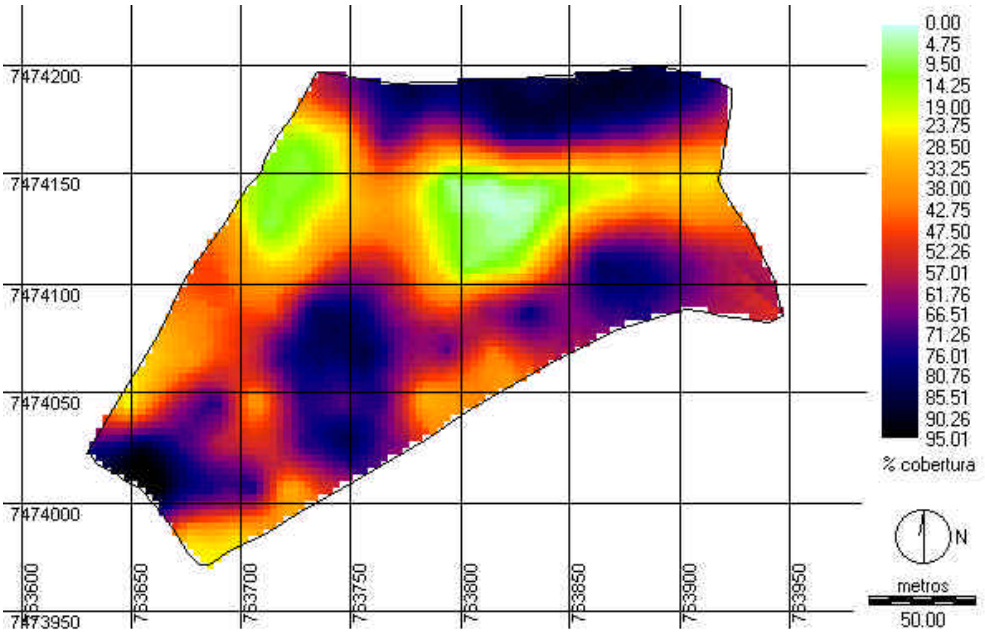

Figura 47 – Mapa da interpolação por krigagem das porcentagens de cobertura de dicotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001).

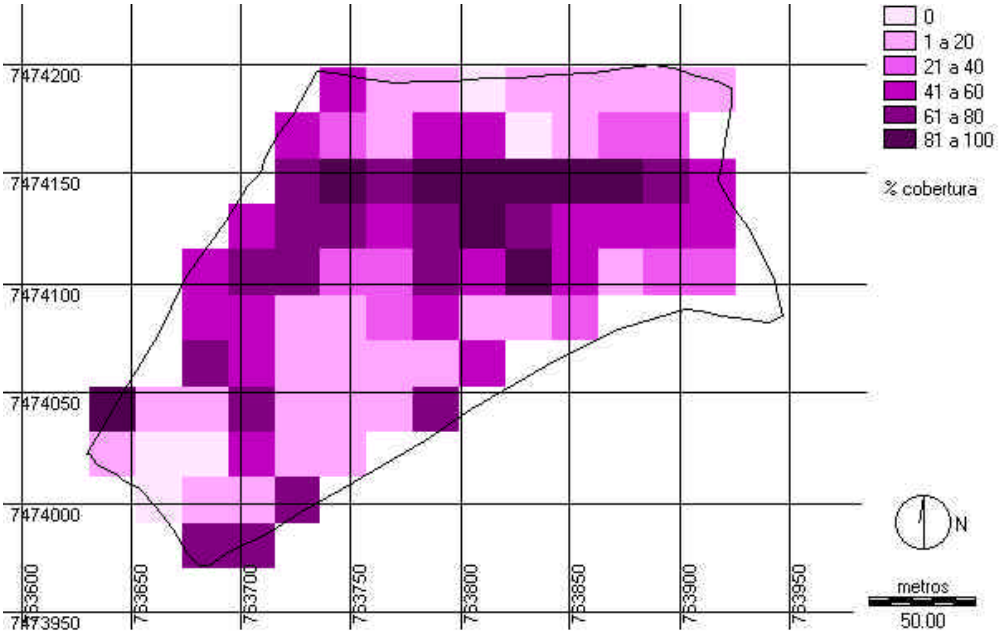

Figura 48 – Mapa das classes de porcentagem de cobertura de capim-colonião (*Panicum maximum*) obtido após a colheita de milho (30/05/2001).

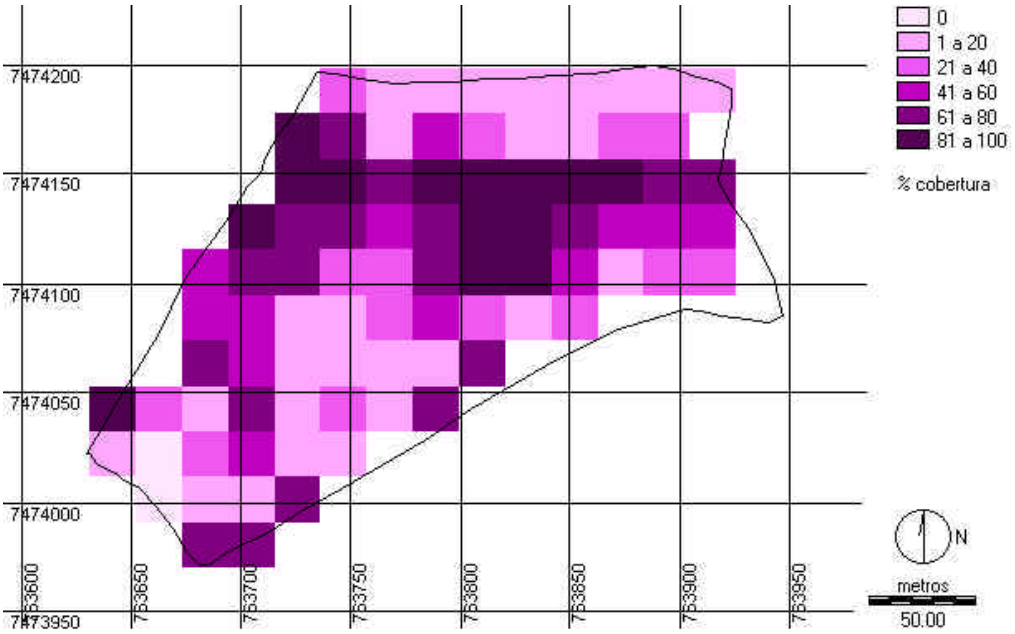

Figura 49 – Mapa das classes de porcentagem de cobertura de monocotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001).

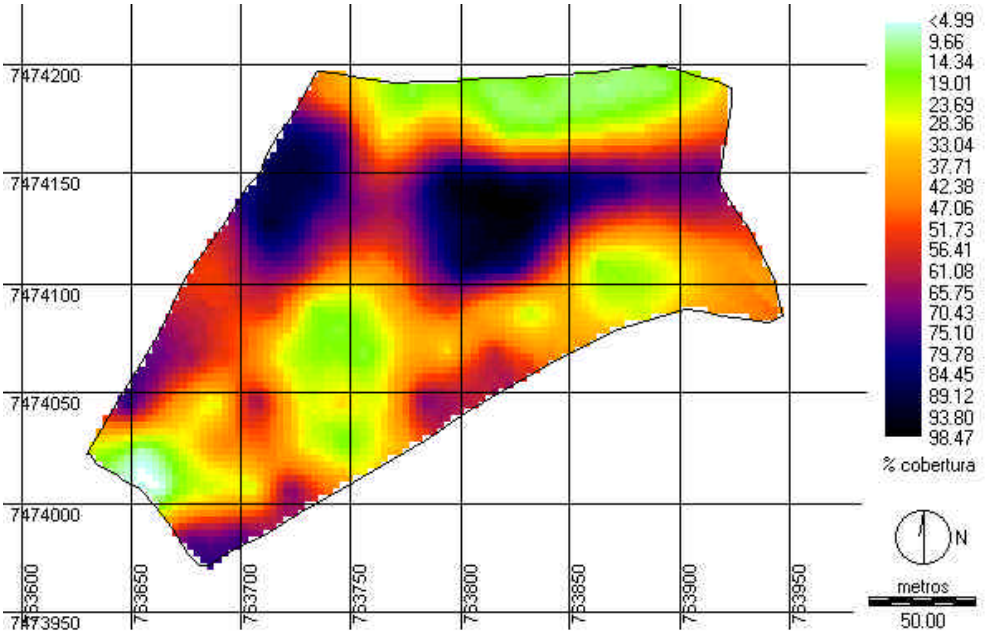

Figura 50 – Mapa da interpolação por krigagem das porcentagens de cobertura de monocotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001).

Quadro 7 – Valores resultantes do teste de Shapiro Wilk aplicado aos valores de porcentagem de cobertura de mono e dicotiledôneas obtidos após a colheita de milho (30/05/2001).

Classe	W	S	K
Monocotiledôneas	0,91*	0,16	-1,27
Dicotiledôneas	0,91*	-0,15	-1,29

(*) 1% de significância; (W) Teste de Shapiro Wilk; (S) coeficiente de assimetria; (K) coeficiente de curtose.

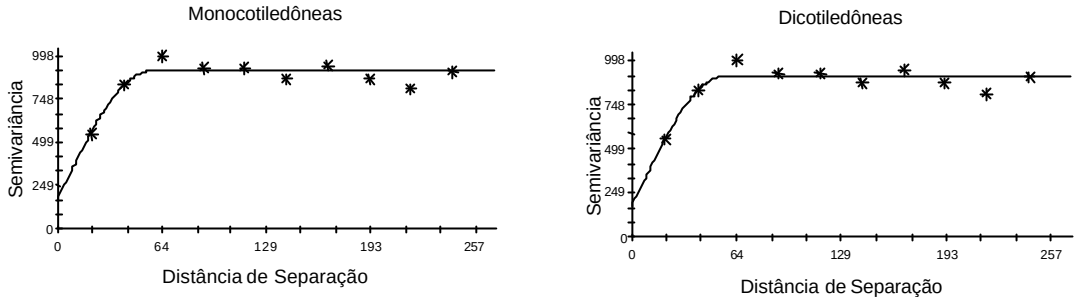

Figura 51 – Semivariogramas ajustados para os valores de porcentagem de cobertura de mono e dicotiledôneas obtidos após a colheita de milho (30/05/2001).

Quadro 8 – Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os valores de porcentagem de cobertura de mono e dicotiledôneas obtidos após a colheita de milho (30/05/2001).

Classe	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	r^2
Monocotiledôneas Dicotiledôneas	Esférico	167,00	906,90	56,60	0,832

A avaliação da densidade populacional de plantas daninhas da área não foi realizada nesta época, pois julgou-se inviável a aplicação deste critério nas condições de infestação e cobertura da área.

6.8.2 Mapas gerados pelo caminhamento no contorno das manchas

As dicotiledôneas não apresentaram distribuição em manchas e sim em área total, como foi observado nos mapeamentos anteriores. O mapeamento das monocotiledôneas foi realizado pelo caminhamento no contorno de uma grande mancha formada por um elevado número de espécies dessa classe, representada principalmente pelo capim-colonião (*Panicum maximum*) e sorgo-selvagem (*Sorghum arundinaceum*), que unidas garantiam a continuidade da mancha. O mapa das manchas de monocotiledôneas, apresentado na Figura 52, mostra uma elevada área infestada, correspondendo a 57% da área, também observada no mapa das áreas de presença de monocotiledôneas (Figura 45). Comparando o mapa das manchas (Figura 52) com o mapa da interpolação por krigagem da porcentagem de cobertura de monocotiledôneas (Figura 50) mapeadas nesta época, observou-se que o caminhamento no contorno das manchas pode resultar numa distribuição superestimada em relação aos locais com maior porcentagem de cobertura (de 30 a 100%).

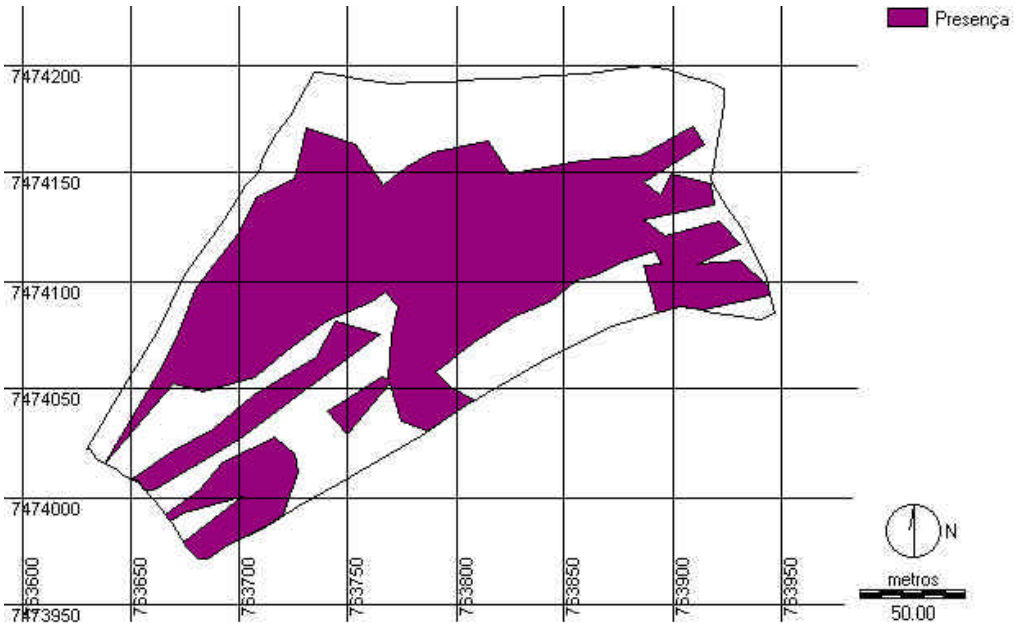

Figura 52 – Mapa das manchas de monocotiledôneas obtido após a colheita de milho (30/05/2001).

6.8.3 Mapas gerados pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude

As imagens obtidas nesta época foram realizadas com as câmeras fotográficas. Na Figura 53 é apresentada uma fotografia digitalizada com a imagem da área coberta com os restos picados das plantas de milho após a colheita. Os terraços cobertos por plantas daninhas foram facilmente visualizados na fotografia, bem como outros locais infestados por plantas daninhas. A infestação de monocotiledôneas observadas antes da colheita (Figura 36) ainda podem ser visualizadas, mesmo depois da plantas daninhas terem sido picadas pela colhedora. Porém, mesmo com a utilização do Adobe Photoshop como processo auxiliar de separação de áreas com a mesma tonalidade, não foram identificadas manchas que pudessem representar áreas de interesse de controle. Uma alternativa para a identificação dessas áreas com plantas daninhas seria a utilização de processamento de imagens não convencionais (vermelho e infravermelho) para separar solo, restos culturais e plantas daninhas, como o proposto por Stafford & Benlloch (1997).

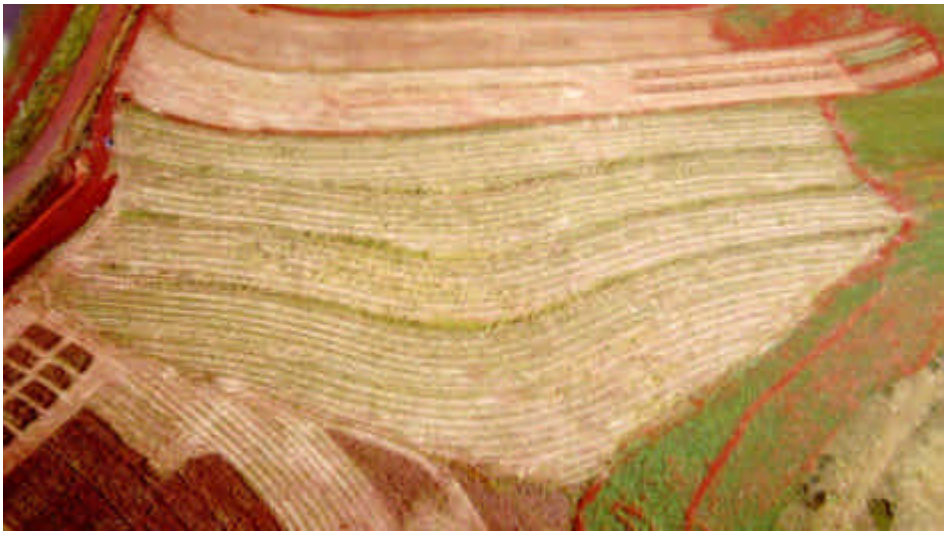

Figura 53 – Imagem digitalizada de fotografia obtida após a colheita de milho (30/05/2001).

6.9 Análise geral das metodologias de mapeamento nas épocas de avaliação

O mapeamento em grade indicou, nas quatro épocas, elevada infestação com dicotiledôneas. Este método também permitiu mapear adequadamente as infestações de dicotiledôneas ou cada uma das espécies que compõem este grupo. A decisão de avaliar as espécies isoladas ou conjuntamente depende do controle que será utilizado. Se a presença ou ausência de uma ou outra espécie implicar na variação da dose ou da composição de herbicida em uso, o mapeamento terá de ser específico, caso contrário, poderá ser feito para todo o grupo de espécies.

Apesar da presença em área total das dicotiledôneas, o mapeamento em grade permitiu a obtenção de informações relativas ao nível de infestação e tendência de distribuição, como ficou demonstrado nos mapas das classes de porcentagem de cobertura de dicotiledôneas, onde foi possível visualizar áreas onde a cobertura foi maior e menor. Isso se deveu ao fato das espécies de dicotiledôneas presentes exibirem diferentes níveis de cobertura.

Por outro lado, a infestação das monocotiledôneas apresentou distribuição irregular na área. A desvantagem da utilização da grade no seu mapeamento foi a superestimação das áreas com presença das plantas, uma vez que não se conhece o tamanho ideal da grade de amostragem, que neste caso, pode ter sido grande demais para localizar pequenas manchas. Por outro lado, da mesma maneira que para as dicotiledôneas, com esse método foi possível obter informações sobre a tendência da distribuição em manchas de monocotiledôneas, pois os locais com as maiores coberturas de plantas daninhas encontravam-se muito próximos entre si.

O mapeamento em grade necessitou a tabulação e edição dos dados para a realização do processamento e elaboração dos mapas, o que pode ser uma desvantagem no caso de uma maior intensidade de amostragem. Apesar das avaliações da infestação terem sido feitas com muito cuidado, tais dados podem conter imperfeições, uma vez que a grade de amostragem é delimitada por uma linha imaginária.

O mapeamento pelo caminhamento no contorno das manchas foi realizado com sucesso para as infestações de monocotiledôneas, adaptando-se melhor para as plantas daninhas perenes, principalmente o capim-colonião (*Panicum maximum*) e o sorgo-selvagem (*Sorghum arundinaceum*). Antes do manejo da vegetação espontânea, em função da

elevada infestação na área, houve dificuldade de se mapear as monocotiledôneas, pois a falta de continuidade e a mistura de plantas daninhas fez com que algumas manchas não fossem mapeadas. A área infestada por essas plantas foi subestimada por este método na primeira época de mapeamento. Nas demais épocas o mapeamento das manchas de monocotiledôneas foi muito mais fácil, sendo rápido o contorno de manchas bem definidas. Não foi possível a identificação e o contorno das dicotiledôneas em nenhuma das épocas de mapeamento porque a sua distribuição na área foi constantemente uniforme, havendo pouca agregação entre as plantas presentes em área total, o que não justificou o uso dessa metodologia para o mapeamento dessa classe de plantas daninhas. Mesmo havendo a possibilidade de mapear espécies isoladas, como por exemplo a mamona (*Ricinus communis*), representada por algumas plantas agrupadas na área, o manejo das plantas daninhas não justificaria a localização de suas manchas. Esta metodologia de mapeamento forneceu melhores informações sobre a localização e contorno das manchas de monocotiledôneas perenes.

A análise das imagens de fotografias convencionais foi realizada em todas as épocas de mapeamento, sendo o período anterior a colheita de milho a melhor fase para obtenção de áreas de interesse de controle de plantas daninhas. O mapeamento nesta época foi favorecido pela visualização contrastante entre as plantas daninhas de monocotiledôneas (principalmente de capim-colonião) e as plantas secas da cultura de milho no final de seu ciclo, e também pela elevada infestação de plantas daninhas, característica do manejo dessa área experimental. As imagens convencionais realizadas antes do manejo da vegetação espontânea permitiram a visualização de diferenças existentes na área, porém o seu processamento não foi capaz de mapear áreas de interesse de controle de plantas daninhas. Este fato ocorreu em função da infestação ser muito elevada e composta de uma mistura de plantas espalhada por toda a área, não sendo possível detectar áreas com manchas isoladas com contorno bem definido e de coloração discrepante em relação a maioria das plantas. O mesmo ocorreu após a semeadura de milho, com o milho e as plantas daninhas em emergência sobre uma palhada de coloração clara muito intensa. Também após a colheita, com as plantas daninhas picadas pela colhedora e distribuídas junto a palhada de milho, não foi possível a visualização e análise das imagens convencionais. A análise de imagens aéreas apresentou como desvantagem a necessidade de digitalização e georreferenciamento das imagens, havendo a necessidade de obtenção de pontos visíveis de coordenadas geográficas conhecidas

dentro da área. Esta etapa foi trabalhosa e fundamental para a criação de mapas com as áreas de interesse de controle de plantas daninhas.

A elaboração dos mapas obtidos pelo deslocamento da colhedora durante a colheita foi inviabilizado pelo problema de transferência dos dados coletados do equipamento DGPS para um computador. Em termos práticos, as monocotiledôneas presentes na área foram facilmente observadas da colhedora em deslocamento, o que permitiria o mapeamento concomitante à operação de colheita.

6.10 Aplicação prática das metodologias de mapeamento em situação real de uma área de produção

Nas condições deste trabalho houve uma variação muito grande no tempo necessário para se executar cada metodologia de mapeamento, independente da época de sua realização. Para o mapeamento pelo caminhamento em grade de amostragem foi necessária a determinação das coordenadas dos 101 pontos centrais das grades e locação das estacas para permitir a localização das grades nas épocas futuras de mapeamento. Esta operação levou um tempo aproximado de 0,5h/ha, totalizando 2h na área toda (3,9ha), podendo ter sido evitada se os mapeamentos fossem realizados com equipamentos DGPS para navegação em tempo real. É importante ressaltar que numa área de pesquisa é melhor que os pontos permaneçam locados na área, até mesmo para evitar erros nas diferentes épocas de mapeamento. Porém, em áreas de produção, este procedimento seria inviável.

Nas avaliações da presença e ausência ou porcentagem de cobertura foram necessários ao redor de 8h para percorrer toda a área (2h/ha) e avaliar as espécies individualmente, sendo menor o tempo para avaliar somente as classes de mono e dicotiledôneas, ao redor de 6h para a área toda (1,5h/ha). No caso da avaliação da densidade populacional de plantas, em função da elevada infestação característica do manejo dessa área experimental, seria inviável o caminhamento na área toda em um dia, pois foi necessário ao redor de 2h para contar as plântulas de 0,4ha, ou seja, 5h/ha. O tamanho da grade adotado no estudo (20x20m) inviabilizaria a prática do caminhamento numa área agrícola de produção em função do elevado tempo necessário para a avaliação e do custo do mapeamento. Com esta média de 2h/ha, seriam necessárias 2000h para uma pessoa mapear 1000ha. Uma solução

poderia ser a utilização de uma grade de maior tamanho. Entretanto, isso poderia significar a perda de informações valiosas sobre a distribuição das infestações de plantas daninhas. Um outro aspecto a considerar é que, após as avaliações de campo, foi necessária a edição dos dados para a elaboração de mapas. Este processo não é muito demorado (10min/mapa), mas requer mão de obra especializada.

O mapeamento pelo caminhamento no contorno das manchas foi mais fácil de ser implementado, não necessitando de preparação da área como no mapeamento em grade. O tempo gasto para mapear todas as manchas de interesse na área não foi superior a 1,5h (0,4h/ha), permitindo assim a sua utilização prática em áreas de produção com interesse no mapeamento de plantas com distribuição em manchas. As plantas perenes da área foram facilmente mapeadas, porém o contorno de plantas daninhas anuais, como a maioria das dicotiledôneas, foi mais difícil, principalmente em condições de elevada infestação (antes do manejo da vegetação para semeadura de milho, por exemplo). O processamento dos dados e mapeamento foi praticamente instantâneo quando se utilizou atributos alfanuméricos para caracterizar a posição e a infestação da mancha contornada.

Na análise de imagens aéreas, as condições de obtenção das imagens foram muito peculiares, uma vez que foi necessário o deslocamento da aeronave desde o município de Bauru-SP, havendo um custo de R$250 por hora de vôo. Foram gastas 0,5h para deslocamento da aeronave do aeroporto até a área experimental, 0,5h para realização de diversas imagens com diversas câmeras, e 0,5h para retorno da aeronave. A extrapolação dessa modalidade de mapeamento para áreas de produção comercial ainda tem que ser melhor estudada em termo de custo e logística. Entretanto, é importante ressaltar que foi possível visualizar áreas de interesse de controle na época que antecedeu a colheita, o que mostra o potencial de uso em larga escala.

O mapeamento pelo deslocamento da colhedora foi realizado com muita praticidade, não havendo custos adicionais ao mapeamento, pois foi utilizado o próprio deslocamento da colhedora para visualizar as áreas de interesse de controle de plantas daninhas. O mapeamento nesta época pode auxiliar na obtenção de informações sobre as áreas onde, apesar da aplicação de herbicidas, não houve o controle satisfatório da infestação, ou até mesmo servir como informação sobre a localização das plantas infestantes a serem manejadas após a colheita. Infelizmente, os dados coletados durante o mapeamento foram perdidos por

um problema no equipamento DGPS, inviabilizando a elaboração de mapas que reproduzissem a infestação a campo.

Antes de se definir a estratégia de mapeamento, é necessário que seja definido o objetivo do mapeamento, como por exemplo, controle de plantas daninhas (perenes ou anuais), estudo da biologia da flora infestante, reconhecimento de áreas de maior pressão de infestação, observação de falhas no controle, presença de plantas daninhas tolerantes ao manejo químico utilizado, acompanhamento da migração e evolução da distribuição, etc. Desta forma, quando do estudo e aplicação do mapeamento de plantas daninhas, é importante ressaltar o papel da obtenção de dados a longo prazo para a definição das estratégias de controle.

6.11 Análise da evolução da infestação de monocotiledôneas ao longo do ciclo da cultura

As áreas de interesse de controle da infestação de monocotiledôneas puderam ser mapeadas por todas as metodologias em todas as épocas, podendo ser observada uma distribuição em manchas, que justifica a aplicação localizada em doses variáveis de herbicida.

Os resultados apresentados na Figura 54 mostram os mapas das áreas de infestação de monocotiledôneas obtidos pelas metodologias de mapeamento nas diferentes épocas de avaliação, sendo possível visualizar o padrão de agregação em manchas característico das monocotiledôneas mapeadas, principalmente formada pelo capim-colonião (*Panicum maximum*), e o grau de estabilidade da distribuição, o que permitiu concluir que a distribuição espacial dessas plantas daninhas é estável e permanente com o passar do tempo.

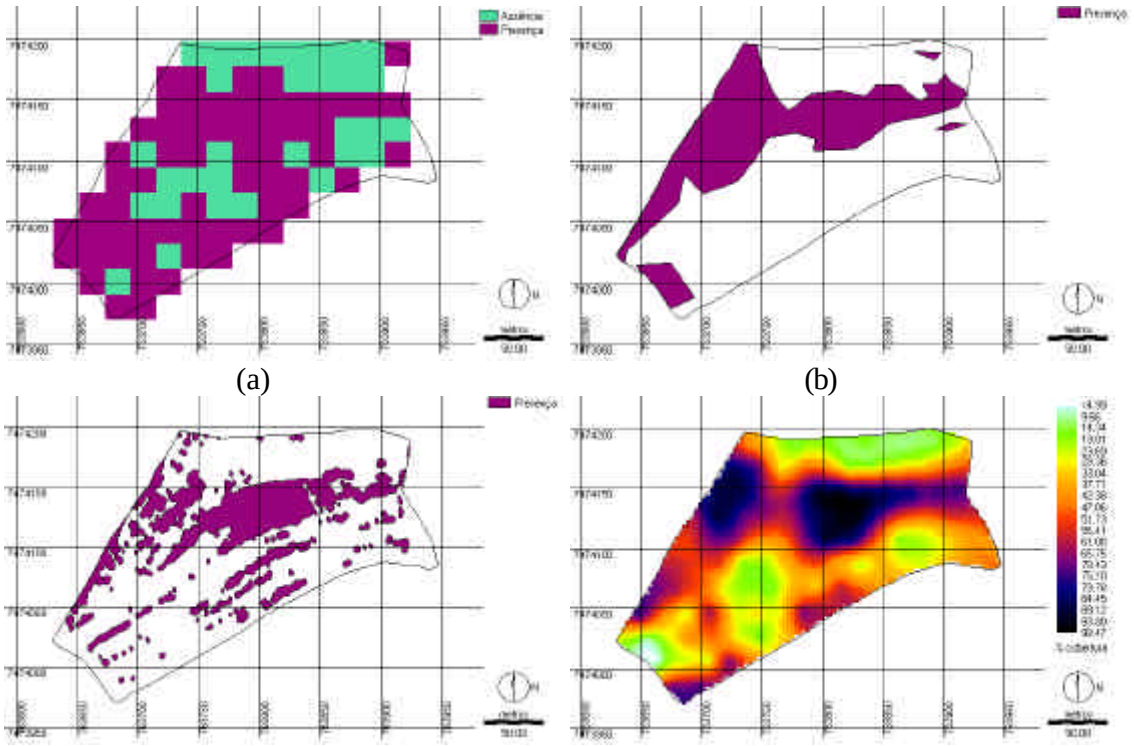

Figura 54 – Mapas das áreas de infestação de monocotiledôneas nas diferentes épocas de avaliação, obtidos por diferentes metodologias: (a) antes da semeadura (presença e ausência amostradas em grade), (b) após a semeadura (contorno das manchas), (c) antes da colheita (análise de imagem aérea) e (d) após a colheita (krigagem das porcentagens de cobertura amostradas em grade).

A Figura 54a ilustra o mapa das áreas de presença e ausência obtido antes da semeadura de milho. A área com presença das monocotiledôneas neste mapa foi de 66% do total, medida influenciada pela elevada infestação inicial da área antes do manejo da vegetação. Na Figura 54b, as manchas obtidas pelo caminhamento no contorno da infestação após a semeadura estão localizadas em uma área de 33% do mapa, apresentando um contorno bem definido. Os polígonos das manchas obtidas pela análise de imagem aérea realizada antes da colheita são apresentados na Figura 54c, sendo observada uma infestação em 26% da área. No mapa da interpolação por krigagem das porcentagens de cobertura das monocotiledôneas obtido após a colheita (Figura 54d) é possível visualizar uma área mais escura, definida por uma classe de infestação de 40 a 100% de cobertura, que está presente em 60% da área. A análise da área de infestação de cada época, respectivamente 66%, 33%, 26% e 60%, pode

fornecer valores úteis ao manejo localizado das monocotiledôneas. Como exemplo, no caso da área de infestação de 33% obtida após a semeadura, se o aplicação localizada em doses variáveis fosse utilizada no controle dessas plantas daninhas, com aplicação da dose recomendada sobre a mancha de 33% da área e dose reduzida no restante, pode-se afirmar que haveria uma economia pela redução da dose aplicada de herbicida em 67% da área, comparada com a aplicação uniforme em área total. Da mesma forma, esta economia poderia ser obtida para a dessecação e para o manejo outonal das plantas daninhas presentes na área após a colheita.

Analisando a sobreposição destes mapas através do IDRISI, foi possível observar que a infestação permaneceu no mesmo lugar em 15% da área experimental (Figura 55), ao longo de todo o ciclo da cultura. Este fato reforça a utilidade do mapeamento para a identificação de áreas de interesse de controle de infestação dessas plantas daninhas, independentemente da época de mapeamento, pois em qualquer das épocas o mapa sempre mostra uma parte considerável da mancha consolidada.

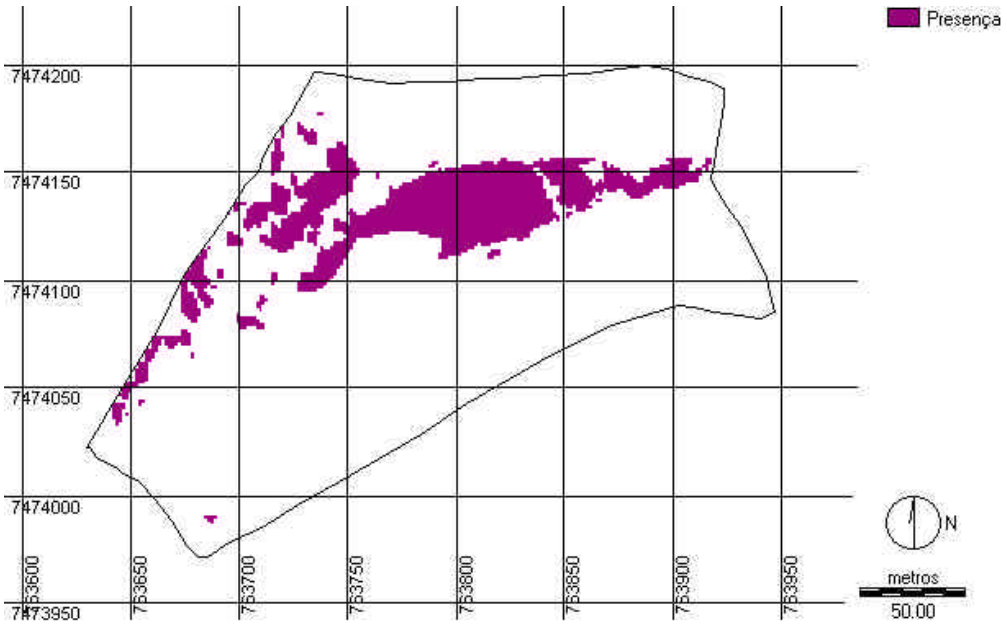

Figura 55 – Mapas das áreas de infestação de monocotiledôneas presente durante todo o ciclo da cultura de milho, obtido pela sobreposição dos mapeamentos nas diferentes épocas.

7 CONCLUSÕES

Para as condições de realização deste trabalho são válidas as seguintes conclusões:

O mapeamento pelo caminhamento em grade de amostragem se mostrou eficiente para a identificação da variabilidade espacial das plantas daninhas mono e dicotiledôneas;

No mapeamento pelo caminhamento em grade, a coleta de atributos como porcentagem de cobertura foi útil para a visualização da variabilidade espacial das dicotiledôneas, independentemente da infestação se apresentar em 100% da área;

O mapeamento pelo caminhamento no contorno das manchas somente foi viável para plantas perenes de distribuição agregada, notadamente as monocotiledôneas;

A identificação de áreas de interesse de controle de plantas daninhas pela análise de imagens aéreas obtidas em baixa altitude de vôo somente foi possível imediatamente antes da colheita;

O processamento de mapas obtidos nas diferentes etapas de avaliação mostrou que a infestação de monocotiledônes permaneceu no mesmo local, ao longo do tempo, em 15 % da área experimental.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEGAS, F.S. Manejo integrado de plantas daninhas. *Rev. Plantio Direto,* n.40, p.17-21, 1997.

ADEGAS, F.S. Manejo integrado de plantas daninhas em plantio direto no Paraná. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE MANEJO E CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM PLANTIO DIRETO, 1, 1998, Passo Fundo. *Resumos*... Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998. p.17-26.

ADOBE SYSTEMS INC. *Adobe photoshop 5.0 for windows.* USA: Adobe Systems Inc., 1998. sp.

AHRENS, W.H. Relative costs of a weed-activated versus conventional sprayer in northern great plains fallow. *Weed Technol.*, v.8, p.50-7, 1994.

ANDREASEN, C., STREIBIG, J.C. Soil properties affecting the distribution of 37 weed species in Danish fields. *Weed Res.*, v.31, p.181-7, 1991.

ANTUNIASSI, U.R. Precisão na aplicação para controle de plantas daninhas. SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE MANEJO E CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM PLANTIO DIRETO, 1, 1998, Passo Fundo. *Resumos*... Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998. p.69-81.

ANTUNIASSI, U.R. Maquinaria e equipamentos de suporte à aplicação localizada de recursos. In: CONGRESSO DE TECNOLOGIA E COMPETITIVIDADE DA SOJA NO MERCADO GLOBAL, 2000, Cuiabá. *Anais*... Cuiabá: Fundação Mato Grosso, 2000. p.27-35.

ANTUNIASSI, U.R., GADANHA JÚNIOR, C.D. Aplicação localizada de produtos fitossanitários. In: BORÉM, A. *Agricultura de precisão*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.181-202.

ASHTECH. *Reliance position field operations manual*. Sunny Vale: Ashtech, 1996. sp.

BAIO, F.H.R., RAFFO, J.G.G., ANGULO FILHO, R., VETTORAZZI, C.A., DEMÉTRIO, V.A. Acuracidade de equipamentos GPS de navegação e sua possível aplicabilidade em trabalhos topográficos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. *Anais*... Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.436-7.

BALASTREIRE, L.A. Aspectos gerais da agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. *Anais*... Londrina: EMBRAPA, 1999. p.251-6.

BERTI, A., SATTIN, M. Effect of weed position on yield loss in soybean and a comparison between relative weed cover and other regression models. *Weed Res.*, v.36, p.249-58, 1996.

BERTI, A., ZANIN, G. Density equivalent: a method for forecasting yield loss caused by mixed weed populations. *Weed Res.*, v.34, p.327-32, 1994.

BIANCHI, M.A. Manejo integrado de plantas daninhas no sistema plantio direto. SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE MANEJO E CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM PLANTIO DIRETO, 1, 1998, Passo Fundo. *Resumos*... Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998. p.108-19.

BILLER, R.H. Reduced input of herbicides by use of optoeletronic sensors. *J. Agric. Eng. Res.*, v.71, p.357-62, 1998.

BILLER, R.H, HOLLSTEIN, A., SOMMER, C. Precision application of herbicides by use of optoelectronic sensors. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick, UK. *Proceedings*... Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1997. v.2 Technology, p.451-8.

BLACK, I.D., DYSON, C.B. An economic threshold model for spraying herbicides in cereals. *Weed Res.*, v.33, p.279-90, 1993.

BLACK, I.D., DYSON, C.B. A model of the cost delay in spraying weeds in cereals. *Weed Res.*, v.37, p.139-46, 1997.

BLACKSHAW, R.E. Factors affecting the operation of the weed-sensing detectspray system. *Weed Sci*., v.46, p.127-31, 1998.

BLACKSHAW, R.E., MOLNAR, L.J., LINDWALL, C.W. Merits of a weed-sensing sprayer to control weeds in conservation fallow and cropping systems. *Weed Sci.*, v.46, p.120-6, 1998.

BROULIK, B.L., DALSTED, K.J., CLAY, S.A., CLAY, D.E., CARLSON, C.G., ELLSBURY, M.M., MALO, D.D. Weed detection in field corn using high resolution multispectral digital imagery and field scouting. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul, Minnesota. *Proceedings*... Madison: American Society of Agronomy, 1999. p.1409.

BROWN, R.B., STECKLER, J.P.G.A., ANDERSON, G.W. Remote sensing for identification of weeds in no-till corn. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, v.37, p.297-302, 1994.

CAMBARDELLA, C.A., KARLEN, D.L. Spatial analysis of soil fertility parameters. *Precision Agric.*, v.1, p.5-14, 1999.

CARDINA, J., DOOHAN, D.J. Weed biology and precision farming. *Site-Specific Management Guidelines*, n.25, p.1-4, 1999. Disponível em: <http://ppi-far.org/ssmg>. Acesso em: 10 abr. 2000.

CARDINA, J., SPARROW, D.H. A comparison of methods to predict weed seedling populations from soil seedbank. *Weed Sci.*, v.44, p.46-51, 1996.

CARDINA, J., JOHNSON, G.A., SPARROW, D.H. The nature and consequence of weed spatial distribution. *Weed Sci.*, v.45, p.364-73, 1997.

CARDINA, J., SPARROW, D.H., McCOY, E.L. Analysis of spatial distribution of common lambsquarters (*Chenopodium album*) in no-till soybean (*Glycine max*). *Weed Sci.*, v.43, p.258-68, 1995.

CARVALHO, W.A., ESPÍNDOLA, C.R., PACCOLA, A.A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado – "Estação Experimental Presidente Médici". *Bol. Cient. Fac. Ciênc. Agron./Univ. Est. Paulista*, n.1, p.1-95, 1983.

CHRISTENSEN, S., HEISEL, T., BENLLOCH, J.V. Patch spraying and rational weed mapping in cereals. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul, Minnesota. *Proceedings*... Madison: American Society of Agronomy, 1999. p.773-85.

CLAY, S., JOHNSON, G. Scouting for weeds. *Site-Specific Management Guidelines*, n.15, p.1-4, 1999. Disponível em: <http://ppi-far.org/ssmg>. Acesso em: 10 abr. 2000.

COLLIVER, C.T., MAXWELL, B.D., TYLER, D.A., ROBERTS, D.W., LONG, D.S. Georeferencing wild oat infestations in small grains: accuracy and efficiency of three weed survey techniques. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3, 1996, Minneapolis. *Proceedings*... Madison: American Society of Agronomy, 1996. p.453-63.

COUSENS, R.D., WOOLCOCK, J.L. Spatial dynamics of weeds: an overview. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE / WEEDS, 1997, Brighton. *Proceedings*... Surrey: British Crop Protection Council, 1997. v.2, p.613-8.

DAVIES, D.H.K., McROBERTS, N., FOSTER, G.N., WHYTOCK, G.P., EVANS, K.A., McKINLAY, R.D., WALE, S. *COIRE*: The impact of the presence of weeds, pests and diseases on crop qualities. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE / WEEDS, 1997, Brighton. *Proceedings*... Surrey: British Crop Protection Council, 1997. v.2, p.711-6.

EASTMAN, J.R. *IDRISI 32 for Windows*: user's guide. Version 2.0. Massachusetts: Clark University, 1997. sp.

EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412p.

ENGQVIST, A., BENGTSSON, P., ENFALT, P. A model for site specific broad-leaved weed control based on weed plant variables. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick, UK. *Proceedings*... Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1997. v.2 Technology, p.869-78.

FANCELLI, A.L., DOURADO NETO, D. *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FELTON, W.L., McCLOY, K.R. Microprocessor-controlled, weed-detecting technology helps save money and the environment. *Agric. Eng.*, p.9-12, 1992.

FIRBANK, L.G., ELLIS, N.E., HILL, M.O., LOCKWOOD, A.J., SWETNAM, R.D. Mapping the distribution of weeds in Great Britain in relation to national survey data and to soil type. *Weed Res.*, v.38, p.1-10, 1998.

FORCELLA, F. Estimating the timing of weed emergence. *Site-Specific Management Guidelines*, n.20, p.1-4, 1999. Disponível em: <http://ppi-far.org/ssmg>. Acesso em: 10 abr. 2000.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. *GS+ for windows – geostatistics for the environmental science*. Version 5.0.3. Plainwell: Gamma Design Software, 2000. sp.

GERHARDS, R., SOKEFELD, M., TIMMERMANN, C., REICHART, S., KUHBAUCH, W., WILLIAMS II, M.M. Results of a four-year study on site-specific herbicide application. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2, 1999, Odense, Denmark. *Proceedings*... Sheffield: Society of Chemical Industry, 1999. v.1, p.689-98.

GHERSA, C.M., GHERSA, M.A.M., SATORRE, E.H., VAN ESSO, M.L., CHICHOTKY, G. Seed dispersal, distribution and recruitment of seedlings of *Sorghum halepense* (L.) Pers. *Weed Res.*, v.33, p.79-88, 1993.

GREEN, H.M., VENCILL, W.K., KVIEN, C.K., BOYDELL, B.C., POCKNEE, S. Precision management of spatially variable weeds. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick, UK. *Proceedings*... Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1997. v.2 Technology, p.983-9.

GRIEPENTROG, H.W. Seed distribution over the area. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 1998, Oslo. *Proceedings*... Oslo: Publ. Eurageng, 1998. v.2, p.663-4.

GRUNDY, A.C. Implications of aggregated weed seed distribution for weed seedbank studies. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE / WEEDS, 1997, Brighton. *Proceedings*... Surrey: British Crop Protection Council, 1997. v.2, p.619-20.

HAGGAR, R.J., STENT, C.J., ISAAC, S. A prototype hand-held patch sprayer for killing weeds, activated by spectral differences in crop/weed canopies. *J. Agric. Eng. Res.*, v.28, p.349-58, 1983.

HANKS, J.E. Smart sprayer selects weeds for elimination. *Agric. Res.*, v.44, p.4, 1996.

HAYES, J.C., PRIVETTE III, C.V. Potencial benefits of precision farming. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, 1997, p.70-8.

HEIMANN, B., CUSSANS, G.W. The importance of seeds and sexual reproduction in the population biology of *Cirsium arvense* - a literature review. *Weed Res.*, v.36, p.493-503, 1996.

HEISEL, T., ANDREASEN, C., ERSBOLL, A.K. Annual weed distributions can be mapped with kriging. *Weed Res.*, v.36, p.325-37, 1996.

HUETE, A.R. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sens. Environm.*, v.17, p.37-53, 1985.

HUMMEL, J.W., YU, J. Spectral reflectance pattern recognition for segmenting corn plants and weeds. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul, Minnesota. *Proceedings*... Madison: American Society of Agronomy, 1999. p.1523-36.

JOHNSON, G.A., MORTENSEN, D.A., MARTIN, A.R. A simulation of herbicide use based on weed spatial distribution. *Weed Res.*, v.35, p.197-205, 1995.

KARSSEN, C.M., DERKX, M.P.M. Study of seasonal variation in dormancy of *Spergula arvensis* L. seeds in a condensed annual temperature cycle. *Weed Res.*, v.28, p.449-57, 1988.

LAMB, D.W., BROWN, R.B. Remote-sensing and mapping of weeds in crops. *J. Agric. Eng. Res.*, v.78, p.117-25, 2001.

LAMB, D.W., WEEDON, M. Evaluating the accuracy of mapping weeds in fallow fields using airborne digital imaging: *Panicum effusum* in oilseed rape stubble. *Weed Res.*, v.38, p.443-51, 1998.

LAMB, D.W., WEEDON, M., REW, L.J. Evaluating the accuracy of mapping weeds in seedling crops using airborne digital imaging: *Avena* spp. in seedling triticale. *Weed Res.*, v.39, p.481-92, 1999.

LANÇAS, K.P. Diagnóstico e controle localizado da compactação do solo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DO AGRONEGÓCIO DO ALGODÃO, 2000, Cuiabá. *Anais*... Cuiabá: Fundação Mato Grosso, 2000. p.25-32.

LANGE, A.F. Centimeter accuracy differential GPS for precision agriculture applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3, 1996, Minneapolis. *Proceedings*... Madison: American Society of Agronomy, 1996. p.675-80.

LASS, L.W., CALLIHAN, R.H. GPS and GIS for weed surveys and management. *Weed Technol.*, v.7, p.249-54, 1993.

LIPPERT, R.M., WOLAK, F.J. Weed mapping and assessment of broadcast vs. spot treatment of sicklepod weeds in soybeans. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2, 1999, Odense, Denmark. *Proceedings*... Sheffield: Society of Chemical Industry, 1999. v.1, p.223-7.

LONG, R.C., SELTMANN, H. Precision application of agricultural chemicals. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick, UK. *Proceedings*... Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1997. v.2 Technology, p.643-50.

LORENZI, H. *Manual de identificação e controle de plantas daninhas:* plantio direto e convencional. 4.ed. Nova Odessa: Plantarum, 1994. 334p.

LUCKE, A., GUNTHER, P., DIEKKRUGER, B., PESTEMER, W., RICHTER, O. Implementation of a herbicide simulation model in a geographical information system with an example of a site-specific application. *Weed Res.*, v.35, p.333-42, 1995.

MANTOVANI, E.C., QUEIROZ, D.M., DIAS, G.P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA / SIMPÓSIO SOBRE MECANIZAÇÃO E AGRICULTURA DE PRECISÃO, 27, 1998, Poços de Caldas. *Trabalhos apresentados*... Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.109-58.

MARSHALL, E.J.P. Field-scale estimates of grass weed populations in arable land. *Weed Res.*, v.28, p.191-8, 1988.

MELHORANÇA, A.L., CONSTANTIN, J., PEREIRA, F. de A.R., GAZZIERO, D.L.P., VALENTE, T. de O., ROMAN, E.S. Plantas daninhas e seu controle. In: SALTON, J.C., HERNANI, L.C., FONTES, C.Z. *Sistema de plantio direto*. Brasília: Embrapa-Serviço de Produção de Informação, 1998. p.177-94.

MILLER, P.C.H., PAICE, M.E.R. Patch spraying approaches to optimise the use of herbicides applied to arable crops. *J. RASE*, p.70-81, 1998.

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão. Parte I: O que é e estado da arte em sensoriamento. *Eng. Agric.(Jaboticabal)*, v.17, n.2, p.97-107, 1997a.

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão. Parte II: Diagnóstico, aplicação localizada e considerações econômicas. *Eng. Agric.(Jaboticabal)*, v.17, n.2, p.108-21, 1997b.

NORDMEYER, H., DUNKER, M. Variable weed densities and soil properties in a weed mapping concept for patchy weed control. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2, 1999, Odense, Denmark. *Proceedings*... Sheffield: Society of Chemical Industry, 1999. v.1, p.453-62.

NORDMEYER, H., HAUSLER, A., NIEMANN, P. Patchy weed control as an approach in precision farming. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick, UK. *Proceedings*... Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1997. v.2 Spatial Variability in Soil and Crop, p.307-14.

PAICE, M.E.R., DAY, W., REW, L.J., HOWARD, A. A stochastic simulation model for evaluating the concept of patch spraying. *Weed Res.*, v.38, p.373-88, 1998.

PÉREZ, A.J., LOPEZ, F. BENLLOCH, J.V., CHRISTENSEN, S. Colour and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. *Comput. Electron. Agric.*, v.25, p.197-212, 2000.

PERRY, J.N. Some aspects of the spatial dynamics of weeds. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE / WEEDS, 1997, Brighton. *Proceedings*... Surrey: British Crop Protection Council, 1997. v.2, p.625-8.

RAIJ, B.V., QUAGGIO, J.A. Métodos de análises de solo para fins de fertilidade. *Bol. Téc. Inst. Agron. (Campinas)*, n.81, p.1-31, 1983.

REW, L.J., CUSSANS, G.W., MUGGLESTONE, M.A., MILLER, P.C.H. A technique for mapping the spatial distribution of *Elymus repens*, with estimates of the potencial reduction in herbicide usage from patch spraying. *Weed Res.*, v.36, p.283-92, 1996.

REW, L.J., LAMB, D.W., WEEDON, M.M., LUCAS, J.L., MEDD, R.W., LEMERLE, D. Evaluating airborne multispectral imagery for detecting wild oats in a seedling triticale crop. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2, 1999, Odense, Denmark. *Proceedings*... Sheffield: Society of Chemical Industry, 1999. v.1, p.265-74.

ROMAN, E.S. Uso de modelo de simulação para a tomada de decisão no manejo de plantas daninhas em plantio direto. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE MANEJO E CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS EM PLANTIO DIRETO, 1, 1998, Passo Fundo. *Resumos*... Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998. p.82-90.

SALVADOR, A. *Silsoe Research Institute*: agricultura de precisão. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, 1999. 47p. (Relatório de estágio curricular.)

SAS INSTITUTE INC. *SAS procedures guide*. Version 6, Third Edition. Cary: SAS Institute Inc., 1990. 705p.

SCHLEMMER, M., HATFIELD, J., RUNDQUIST, D.C. Remote sensing: photographic vs. non-photographic systems. *Site-Specific Management Guidelines*, n.16, p.1-4, 1999. Disponível em: <http://ppi-far.org/ssmg>. Acesso em: 10 abr. 2000.

SCHWARZ, J., WARTENBERG, G., ACKERMANN, I. Process-engineering investigations for site-specific weed control. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2, 1999, Odense, Denmark. *Proceedings*... Sheffield: Society of Chemical Industry, 1999. v.1, p.699-708.

SHEARER, S.A., JONES, P.T. Selective application of post-emergence herbicides using photoelectrics. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, v.34, p.1661-5, 1991.

STAFFORD, J.V. Precision arable agriculture: sensing and control requirements. *Measurement Control*, v.26, p.202-5, 1993.

STAFFORD, J.V. Applications and limitations of the global positioning system for precision agriculture in beet and potato crops. *Aspects Appl. Biol.*, v.52, p.79-86, 1998.

STAFFORD, J.V. Implementing precision agriculture in the 21st century. *J. Agric. Eng. Res.*, v.76, n.3, p.267-75, 2000.

STAFFORD, J.V., BENLLOCH, J.V. Machine-assisted detection of weeds and weed patches. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick, UK. *Proceedings*... Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1997. v.2 Technology, p.511-8.

STAFFORD, J.V, MILLER, P.C.H. Spatially selective application of herbicide to cereal crops. *Comput. Electron. Agric.*, v.9, p.217-29, 1993.

STAFFORD, J.V., MILLER, P.C.H. Spatially variable treatment of weed patches. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3, 1996, Minneapolis. *Proceedings*... Madison: American Society of Agronomy, 1996. p.465-74.

STAFFORD, J.V., LE BARS, J.M., AMBLER, B. A hand-held data logger with integral GPS for producing weed maps by field walking. *Comput. Electron. Agric.*, v.14, p.235-47, 1996.

THOMPSON, J.F., STAFFORD, J.V., MILLER, P.C.H. Potencial for automatic weed detection and selective herbicide application. *Crop Prot.*, v.10, p.254-9, 1991.

THORNTON, P.K., FAWCETT, R.H., DENT, J.B., PERKINS, T.J. Spatial weed distribution and economic thresholds for weed control. *Crop Prot.*, v.9, p.337-42, 1990.

THRIKAWALA, S., WEERSINK, A., KACHANOSKI, G. Management unit size and efficiency gains from nitrogen fertilizer application. *Agric. Syst.*, v.56, p.513-31, 1998.

TIAN, L., REID, J.F., HUMMEL, J.W. Development of a precision sprayer for site-specific weed management. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, v.42, p.893-900, 1999.

VAN GROENENDAEL, J.M. Patchy distribution of weeds and some implications for modelling population dynamics: a short literature review. *Weed Res.*, v.28, p.437-41, 1988.

VELINI, E.D. *Estudo e desenvolvimento de métodos experimentais e amostrais adaptados à matologia*. Jaboticabal, 1995. 250p. Tese (Doutorado em Agronomia / Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.

VIEIRA, S.R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BORÉM, A. *Agricultura de precisão*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.93-108.

VRINDTS, E., DE BAERDEMAEKER, J. Optical discrimination of crop, weed and soil for on-line weed detection. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick, UK. *Proceedings*... Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1997. v.2 Technology, p.537-44.

WALLINGA, J., KROPFF, M.J. Dynamics of weed clusters: current understanding and some open problems. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE / WEEDS, 1997, Brighton. *Proceedings*... Surrey: British Crop Protection Council, 1997. v.2, p.629-32.

WALTER, A.M., HEISEL, T., CHRISTENSEN, S. Shortcuts in weed mapping. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick, UK. *Proceedings*... Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1997. v.2 Technology, p.777-84.

WEBSTER, T.M., CARDINA, J. Accuracy of a global positioning system (GPS) for weed mapping. *Weed Technol.*, v.11, p.782-6, 1997.

WILES, L.J., SCHWEIZER, E.E. Mapping weed populations: the cost of counting and identifying seedlings and seeds. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2, 1999, Odense, Denmark. *Proceedings*... Sheffield: Society of Chemical Industry, 1999. v.1, p.499- 510.

WILES, L.J., GOLD, H.J., WILKERSON, G.G. Modelling the uncertainty of weed density estimates to improve post-emergence herbicide control decisions. *Weed Res.*, v.33, p.241-52, 1993.

WILES, L.J., OLIVER, G.W., YORK, A.C., GOLD, H.J., WILKERSON, G.G. Spatial distribution of broadleaf weeds in North Carolina soybean (*Glycine max*) fields. *Weed Sci.*, v.40, p.554-7, 1992.

ZANIN, G., BERTI, A., RIELLO, L. Incorporation of weed spatial variability into the weed control decision-making process. *Weed Res.*, v.38, p.107-18, 1998.

ZANIN, G., BERTI, A., TONIOLO, L. Estimation of economic thresholds for weed control in winter wheat. *Weed Res.*, v.33, p.459-67, 1993.

ZHANG, J., HAMILL, A.S. Dependence of weed flora on the active soil seedbank. *Weed Res.*, v.38, p.143-52, 1998.

ZWIGGELAAR, R. A review of spectral properties of plants and their potential use for crop/weed discrimination in row-crops. *Crop Prot.*, v.17, p.189-206, 1998.