

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – *CAMPUS* CASCAVEL
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

SELEÇÃO DE GRADES PARA MAPEAMENTO DE PLANTAS ESPONTÂNEAS

RICARDO FERNANDO DA MOTTA CAMICIA

CASCAVEL

2014

RICARDO FERNANDO DA MOTTA CAMICIA

SELEÇÃO DE GRADES PARA MAPEAMENTO DE PLANTAS ESPONTÂNEAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientador: Dr. Marcio Furlan Maggi

CASCADEL – PARANÁ – BRASIL

ABRIL - 2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

C19s Camicia, Ricardo Fernando da Motta
Seleção de grades para mapeamento de plantas espontâneas. /
Ricardo Fernando da Motta Camicia — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2014.
66 f. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do
Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola,
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Agricultura de precisão. 2. Grades amostrais. 3. Ervas daninhas. I.
Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21. ed. 631.3

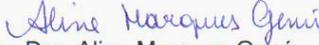
RICARDO FERNANDO DA MOTTA CAMICIA

"Seleção de grades para mapeamento de plantas espontâneas"

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação "*Stricto Sensu*" em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr.  Marcio Furlan Maggi

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste

Prof. Dra.  Aline Marques Genú

Departamento de Agronomia, Unicentro

Prof. Dr.  Eduardo Godoy de Souza

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste

Prof. Dra.  Sílvia Renata Machado Coelho

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Unioeste

Cascavel, 07 de abril de 2014.

BIOGRAFIA

RICARDO FERNANDO DA MOTTA CAMICIA

Nascido em 1º de novembro de 1988, na cidade de Capanema no estado do Paraná. Filho de Marcos Roberto Camicia e Maristela Fátima da Motta Camicia. Concluiu sua graduação em Agronomia no ano de 2010, na Universidade Estadual do Norte do Paraná, *campus* de Bandeirantes. Ingressou no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola – PGEAGRI – Nível de Mestrado no ano de 2012.

Ao meu querido avô Albino da Motta (*in memoriam*).

Dedico...

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Maristela, por seu apoio constante, amor e dedicação em todos os momentos da minha vida.

Aos meus irmãos, pela compreensão nas horas de estudo.

A toda a minha família, sem a qual eu não viveria.

Ao meu orientador Dr. Marcio Furlan Maggi, pela oportunidade oferecida, pelos momentos de orientação, atenção e paciência que dedicou a mim; Agradeço também ao Dr. Eduardo Godoy, que me ajudou e apoiou no início da realização do trabalho.

Aos professores da Banca Examinadora, o Dr. Eduardo Godoy, Dra Silvia Renata Machado Coelho e a Dra Aline Marques Genú, pelas oportunas contribuições.

Aos meus colegas de curso, pelos momentos em que aprendemos uns com os outros e crescemos enquanto pessoas e enquanto pesquisadores.

À CAPES, pelo apoio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná como universidade que presta serviços educacionais para a sociedade brasileira possibilitando a oportunidade estudantil pública de qualidade.

SELEÇÃO DE GRADES PARA MAPEAMENTO DE PLANTAS ESPONTÂNEAS

RESUMO

A adoção da agricultura de precisão no controle de plantas daninhas constitui-se em alternativa à agricultura tradicional, que provocam impactos ambientais e custos desnecessários, quando seu controle é deficiente. Os mapas de plantas espontâneas representam a variabilidade espacial das plantas infestantes que competem com as culturas de uma área cultivada. O levantamento da localização destas plantas permite otimizar o processo de controle na aplicação diferenciada de insumos. A localização e mapeamento de diferentes infestações são tarefas difíceis de serem executadas em larga escala e requerem metodologias adequadas. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o grau de semelhança apresentado pelos mapas temáticos gerados por diferentes grades amostrais de plantas espontâneas em três áreas agrícolas comerciais, compondo uma área total de 23,45 hectares. Foi feita a contagem de monocotiledôneas e dicotiledôneas nas safras 2012/2013 e 2013/2014, antes do plantio da soja no município de Realeza, Sudoeste do estado do Paraná, período de pousio após a colheita de trigo de ambos os anos. Foi gerada uma grade regular de 10 x 10 m para amostragem das invasoras, utilizada como referência, sendo feita a contagem em 1 m² de cada ponto amostral, totalizando 2344 amostras em cada ano, comparadas com grades regulares de 30 e 50 m, geradas a partir da exclusão de dados da grade padrão. Para as amostras de solo foi estabelecida uma grade regular de 50 x 50 m, perfazendo 70 amostras compostas de solo, as quais foram submetidas a análises físicas e químicas. Para a geração dos mapas temáticos, utilizou-se o interpolador inverso do quadrado da distância, na comparação dos mapas gerados a partir de cada grade com o mapa referência, utilizando-se o índice kappa para avaliar a perda de qualidade dos mapas ao se diminuir o número de pontos amostrais. Observou-se correlação espacial dos atributos físicos e químicos analisados, com as plantas do tipo folhas largas e estreitas; as perdas de qualidade dos mapas foram menores no ano de 2013 em relação ao de 2012, quando reduzida a densidade amostral de pontos. As grades de 30 x 30 m descreveram de forma satisfatória os dados de infestação das folhas largas e as grades de 50 x 50 m descreveram adequadamente as infestações de espontâneas de folhas estreitas, quando comparadas com a grade padrão (10 x 10 m).

Palavras-chave: agricultura de precisão, grades amostrais, ervas daninhas.

GRADES SELECTION FOR SPONTANEOUS PLANTS MAPPING

ABSTRACT

The adoption of precision agriculture in weed control constitutes an alternative to traditional agriculture, which causes environmental impacts and unnecessary costs when your control is deficient. The maps of spontaneous plants represent the spatial variability of weeds that compete with crops of cultivated fields. The location survey of these plants allows optimizing process control in differentiated application of inputs. The different infestations mapping and location are difficult tasks to be performed on a large scale and require appropriate methodologies. In this context, the present study aimed to evaluate the degree of similarity presented by thematic maps generated by different sampling weed grids in three commercial farming areas, comprising a total area of 23.45 hectares. A counting of monocots and dicots in the 2012/2013 and the 2013/2014 harvests was done before planting soybeans in the town of Realeza, in the west of the state of Paraná, in the fallow period done after a harvest of wheat of both years. A regular grid of 10 x 10 m for invasive sampling was done, which was used as a reference, being made a counting at 1 m² of each sample point, a total of 2344 samples each year, which was compared to regular grids of 30 m and 50 m, generated from deleting data from the standard grid. For soil samples a regular grid of 50 x 50 m was established, comprising 70 composite soil samples, which were submitted to physical and chemical analysis. For the generation of thematic maps, the inverse interpolation of the squared distance, in comparison of maps generated from each grid with the reference map, using the kappa statistic to assess the loss in quality of the maps while reducing the number of sample points. It was observed a poor spatial correlation of the physical and chemical attributes analyzed, with the type of plant wide and narrow leaves; the loss of quality of the maps were lower in 2013 compared to 2012, when reduced the density of sample points. The 30 x 30 m grids described in a satisfactory way the data of wide leaf infestation, and the 50 x 50 m grids described appropriately the infestations of spontaneous narrow leaves, when compared to the standard grid (10 x 10 m).

Keywords: precision agriculture, sample grids, weeds.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Agricultura de precisão (AP).....	4
3.2 Sistema de posicionamento global (GPS)	6
3.3 Variabilidade espacial.....	7
3.4 Variabilidade espacial de plantas espontâneas	9
3.5 Mapeamento de plantas espontâneas.....	11
3.6 Análise estatística e geoestatística.....	14
3.7 Métodos para comparação de mapas temáticos	18
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1 Caracterização da área A.....	22
4.2 Caracterização da área B.....	23
4.3 Caracterização da área C.....	24
4.4 Construção das grades amostrais	25
4.5 Amostragens de plantas espontâneas.....	26
4.6 Amostragens de solo.....	27
4.7 Análise estatística e geoestatística.....	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 Dados agrometeorológicos.....	32
5.2 Estatística descritiva.....	33

5.3	Plantas espontâneas encontradas nas áreas experimentais	35
5.4	Correlação espacial.....	36
5.5	Comparação de mapas	38
5.5.1	Área amostral A	38
5.5.2	Área amostral B	41
5.5.3	Área amostral C	44
5.6	Índice Kappa	47
5.7	Análise geral.....	49
6	CONCLUSÃO	51
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
	REFERÊNCIAS	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classificação dos níveis de infestação para monocotiledôneas e dicotiledôneas.....	27
Tabela 2	Nível de concordância do índice kappa (k).....	31
Tabela 3	Análise descritiva de incidência das plantas daninhas.....	35
Tabela 4	Espécies de plantas espontâneas encontradas nas áreas amostrais.....	35
Tabela 5	Correlação espacial entre folha larga/ folha estreita e os atributos do solo durante os anos em estudo em diferentes áreas de análise.....	36
Tabela 6	Índice Kappa e Exatidão global das comparações das diferentes grades das áreas A, B, C.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Exemplo de um caso de análise de fatores envolvidos na variabilidade espacial de uma lavoura e seus diferentes graus de probabilidade e de facilidade de correção e que devem ser definidos para cada caso.....	8
Figura 2	Localização do município de Realeza no estado do Paraná e das áreas experimentais dentro do município de Realeza.....	21
Figura 3	Área amostral “A” com tamanho de 7,95 hectares, localizada na linha São Roque, município de Realeza - PR.	23
Figura 4	Área amostral “B” com tamanho de 7,6 hectares, localizada na linha São Roque, município de Realeza - PR.	24
Figura 5	Área amostral “C” com tamanho de 7,9 hectares, localizada na linha Alto Sarandi, município de Realeza - PR.....	25
Figura 6	Retirada sistemática dos dados para a geração das grades com menores densidades amostrais, da esquerda para direita observa-se as grades de 10, 30 e 50 m.....	26
Figura 7	Sistematização da amostragem de plantas espontâneas.....	27
Figura 8	Pontos de amostragem de solo definidos de uma grade 50 x 50 m na área A.28	
Figura 9	Pontos de amostragem de solo definidos de uma grade 50 x 50 m na área B.28	
Figura 10	Pontos de amostragem de solo definidos de uma grade 50 x 50 m na área C.29	
Figura 11	Sistematização da amostragem de solo em cada ponto amostral.	29
Figura 12	Precipitação pluviométrica nos anos de 2012 e 2013, para o município de Realeza - PR.....	32
Figura 13	Temperaturas máxima e mínima nos anos de 2012 e 2013, para o município de Realeza - PR.....	33
Figura 14	Área A-2012 - Folha larga grade de 10 m.	39
Figura 15	Área A-2012 - Folha larga grade de 30 m.	39
Figura 16	Área A-2012 - Folha larga grade de 50 m.	39
Figura 17	Área A-2013 - Folha larga grade de 10 m.	39
Figura 18	Área A-2013 - Folha larga grade de 30 m.	39
Figura 19	Área A-2013 - Folha larga grade de 50 m.	39
Figura 20	Área A-2012 - Folha estreita grade de 10 m.....	40
Figura 21	Área A-2012 - Folha estreita grade de 30 m.....	40
Figura 22	Área A-2012 - Folha estreita grade de 50 m.....	40

Figura 23	Área A-2013 - Folha estreita grade de 10 m.....	40
Figura 24	Área A-2013 - Folha estreita grade de 30 m.....	40
Figura 25	Área A-2013 - Folha estreita grade de 50 m.....	40
Figura 26	Área B-2012 - Folha larga grade de 10 m.	42
Figura 27	Área B-2012 - Folha larga grade de 30 m.	42
Figura 28	Área B-2012 - Folha larga grade de 50 m.	42
Figura 29	Área B-2013 - Folha larga grade de 10 m.	42
Figura 30	Área B-2013 - Folha larga grade de 30 m.	42
Figura 31	Área B-2013 - Folha larga grade de 50 m.	42
Figura 32	Área B-2012 - Folha estreita grade de 10 m.....	43
Figura 33	Área B-2012 - Folha estreita grade de 30 m.....	43
Figura 34	Área B-2012 - Folha estreita grade de 50 m.....	43
Figura 35	Área B-2013 - Folha estreita grade de 10 m.....	43
Figura 36	Área B-2013 - Folha estreita grade de 30 m.....	43
Figura 37	Área B-2013 - Folha estreita grade de 50 m.....	43
Figura 38	Área C-2012 - Folha larga grade de 10 m.	45
Figura 39	Área C-2012 - Folha larga grade de 30 m.	45
Figura 40	Área C-2012 - Folha larga grade de 50 m.	45
Figura 41	Área C-2013 - Folha larga grade de 10 m.	45
Figura 42	Área C-2013 - Folha larga grade de 30 m.	45
Figura 43	Área C-2013 - Folha larga grade de 50 m.	45
Figura 44	Área C-2012 - Folha estreita grade de 10 m.	46
Figura 45	Área C-2012 - Folha estreita grade de 30 m.	46
Figura 46	Área C-2012 - Folha estreita grade de 50 m.	46
Figura 47	Área C-2013 - Folha estreita grade de 10 m.	46
Figura 48	Área C-2013 - Folha estreita grade de 30 m.	46
Figura 49	Área C-2013 - Folha estreita grade de 50 m.	46

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente modernização na agricultura, tem aumentado o interesse de produtores por técnicas de manejo localizado para as culturas agrícolas. A motivação na adoção dessas práticas localizadas se deve ao potencial de aumento nos lucros, à maior eficiência no uso dos insumos agrícolas e à baixa agressão ao meio ambiente. Um dos maiores custos da produção agrícola é o de aplicação de agrotóxicos, especialmente pela recomendação de doses superiores às necessárias para o controle eficiente de pragas, doenças e plantas espontâneas o que, além de aumentar os custos de produção, pode causar sérios danos ao ambiente.

O conceito de gerenciamento localizado das culturas pode ser estendido para outras operações como mapas de fertilidade de solos, aplicações localizadas de fertilizantes ou monitoramento de operações de colheita, mapeamento e controle de plantas daninhas, doenças e até mesmo pragas, minimizando e racionalizando o uso de agrotóxicos.

A tomada de decisão para o controle de plantas espontâneas é baseada no potencial de prejuízo econômico causado pela competição por luz, água, CO₂ e nutrientes. Por outro lado, aplicações excessivas de herbicidas também resultam em dano ao ambiente, evidenciando a necessidade de se conhecer a distribuição espacial das plantas espontâneas. Esta situação é causada, principalmente, pela dificuldade na coleta de dados de infestação de plantas daninhas. A aquisição de dados manual é demorada e, além disso, não existe uma metodologia padronizada para o mapeamento de plantas daninhas.

Estudos realizados por Nordmeyer *et al.* (1997) sugerem que a infestação das plantas espontâneas, normalmente, não ocorre de modo uniforme nas áreas agrícolas, sendo que muitas destas espécies estão agregadas ou ocorrem em “reboleiras” de diversas populações, gerando zonas com baixas, médias e altas densidades de infestação. É importante ressaltar que a aplicação de herbicidas só é justificada caso as infestações atinjam nível de dano econômico, ou seja, quando o prejuízo causado pelas plantas espontâneas é maior do que o custo da aplicação de um herbicida,

Segundo dados do Sindag (2013), os herbicidas movimentaram 2,74 bilhões de dólares no Brasil, em 2011, ou seja, 32,3% do faturamento total do setor de defensivos agrícolas, que responderam por 48,8% da quantidade total vendida em produto comercial, totalizando 403.620 toneladas de herbicidas, que se destinaram principalmente à soja, milho safra e safrinha, algodão, cana-de-açúcar, café, arroz de sequeiro e a culturas de inverno. Com a crescente necessidade de redução do uso de insumos agrícolas, tem aumentado o interesse dos produtores por técnicas de manejo mais específicas para culturas agrícolas,

motivados pela adoção de práticas localizadas que visam ganhos de produtividade, assim, associando a eficiência no uso dos insumos agrícolas com a baixa agressão ao meio ambiente, devido à redução na utilização de produtos.

A metodologia de mapeamento, para posterior aplicação localizada de herbicidas, deve proporcionar uma ação rápida, devido ao dinamismo das populações de plantas invasoras. Além disso, deve ser simples, facilitando a execução do mapeamento, porquanto há um período ideal para a sua execução, levando-se em consideração o momento da realização do controle para evitar a mato-competição.

Por outro lado, devido ao fator escala econômica, busca-se uma metodologia que possa ser aplicada em áreas comerciais, o que estabelece a necessidade de estudos relacionados ao levantamento de infestações de plantas espontâneas em áreas agrícolas comerciais. O mapeamento, em relação à aplicação do herbicida, pode ser prévio ou em tempo real. Contudo, para um eficiente manejo das populações e comunidades de plantas espontâneas nos agroecossistemas, deve-se conhecer e utilizar os diversos métodos de manejo (prevenção, erradicação e controle) em todas as suas modalidades, como cultural, biológico (mecânico e químico), de maneira harmônica e integrada, sempre visando à preservação do ambiente, à qualidade e à quantidade produzida por unidade de área e à eficiência dos sistemas agrícolas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar a distribuição espacial de plantas espontâneas monocotiledôneas e dicotiledôneas em distintas grades amostrais em áreas agrícolas comerciais.

2.2 Objetivos específicos

- Comparar os mapas de grades amostrais em áreas comerciais;
- Comparar a perda de qualidade dos mapas de plantas espontâneas com a redução de pontos amostrais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Agricultura de precisão (AP)

A agricultura de precisão (AP) é definida como um conjunto de tecnologias e procedimentos utilizados para que os sistemas de produção agrícolas sejam otimizados, tendo como elemento chave, o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e os fatores a ela relacionados, sendo na verdade um sistema de gestão ou gerenciamento (MOLIN, 2000).

Esta filosofia de trabalho e gerenciamento localizado que se embasa no conceito de tratamento diferenciado das áreas agrícolas não é nova, foi inicialmente praticada pelos pesquisadores Linsley e Bauer da Universidade de Illinois, Estados Unidos da América do Norte, ainda no ano de 1929. Os estudos foram realizados com o tratamento localizado da correção do pH de uma área de 17 ha (hectare) com base em dados de 23 amostras de solo ordenadamente coletadas (MOLIN, 1997). Porém, esta aplicação foi realizada manualmente devido ao pequeno tamanho da área.

Na agricultura convencional e no plantio direto ocorre o uso maciço de insumos agrícolas. Estes, além de aumentar os custos de produção, podem causar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, comprometendo assim a utilização deste recurso natural, imprescindível à humanidade. O desenvolvimento sustentável obriga a adoção de tecnologias avançadas como a AP, com o objetivo de diminuir a diferença entre a produtividade experimental e real, não obstante as particularidades dos diferentes agroecossistemas (STOPPELLI, 2005).

No final da década de 1990, houve uma grande evolução na agricultura brasileira que conseguiu, praticamente, dobrar a produção e a produtividade de algumas das principais culturas sem, no entanto, aumentar o tamanho das áreas de produção na mesma proporção. Existe, ainda, a necessidade de aumentar a produção de forma sustentável, sobretudo em relação à preservação do meio ambiente. Na busca desses objetivos surgiram, então, as ferramentas de agricultura de precisão, que se inserem nesse contexto como ferramentas de gerenciamento, possibilitando que se acompanhem, minuciosamente, as culturas, conhecendo-as e descobrindo detalhes das lavouras a cada ciclo de produção, visando não apenas aumentar a produtividade, mas também, reduzindo a quantidade de insumos aplicados em determinada área (BLACKMORE, 1994).

A agricultura de precisão tem como elemento chave a variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados (MOLIN, 2001). Enquanto os sistemas tradicionais tratam o solo das propriedades agrícolas de forma homogênea, tomando como base as condições médias das extensas áreas de cultivo para programar as ações corretivas dos fatores limitantes da produção (clima, manejo, solo, etc.), a AP contempla a variabilidade espaço-temporal desses fatores para a tomada de decisão (MANTOVANI; COELHO; MATOSO, 2005). De acordo com Balastreire (2000), essa tecnologia fundamenta-se na existência da variabilidade espacial dos fatores produtivos e, conseqüentemente, na produtividade, podendo ser definida como conceito de manejo do solo e planta, baseado em princípios nos quais os insumos seriam aplicados de acordo com as necessidades de cada local específico no campo, evitando-se, assim, excesso ou falta do insumo em locais específicos da área. Com base nesses princípios, Pierce e Nowak (1999), utilizam a seguinte definição: Agricultura de Precisão é a aplicação de princípios e tecnologias para manejar a variabilidade espacial e temporal, associada com todos os aspectos da produção agrícola, com o objetivo de aumentar a produtividade na agricultura e a qualidade ambiental.

Para Queiroz, Dias e Mantovani (2000), esse sistema agrega técnicas que possibilitam acessar e monitorar a atividade agrícola em de um determinado local, visando aumentar o desempenho agrícola das áreas. Dampney e Moore (1999) ressaltaram que os benefícios da AP estão relacionados à racionalização de insumos, minimizando os custos de produção e diminuindo as contaminações decorrentes da atividade agrícola. Portanto, para o ambiente, os benefícios são potencialmente muitos significativos. A ideia é tratar cada metro quadrado da propriedade de maneira personalizada, corrigir os fatores limitantes da produção, e tornar a lavoura mais uniforme possível. Para que se possa utilizar um GPS para fins de AP, é necessário que esse tenha acurácia de, no mínimo, dois metros, sendo essa suficiente para a maioria das aplicações; em algumas aplicações agrícolas, pode ser necessário acurácia maior (STABILE; BALASTREIRE, 2006). A AP caracteriza-se pela elevada quantidade de informações disponibilizadas, podendo contribuir para o estabelecimento de relações espaciais de atributos de solo com a produtividade das culturas (AMADO; GIOTTO, 2009).

O gerenciamento de um banco de dados tão complexo como o utilizado pela AP é possível com a utilização de sistemas de informações geográficas (SIG). Um SIG pode ser definido como um sistema destinado à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre integrando diversas tecnologias possibilitando estabelecer relações entre os atributos de solo e planta georreferenciados, permitindo desenvolver planos de manejo localizado do talhão (ROSA; BRITO, 2004).

A AP começou com enfoque em culturas produtoras de grãos (principalmente pela extensão da área que ocupam), contudo, seus princípios podem ser aplicados em qualquer cultura. O conceito de gerenciamento localizado de culturas pode ser estendido para o monitoramento de outras operações que não são necessariamente aquelas de levantamento de mapas de fertilidade de solos, aplicações localizadas de fertilizantes ou monitoramento de operações de colheita, mas também para mapeamento e controle de plantas espontâneas, com pulverizações localizadas e, assim, racionalizar o uso de agrotóxicos e também minimizar danos ao meio ambiente (BALASTREIRE; BAIO, 2001).

Quanto ao emprego da AP no controle de plantas espontâneas, Moraes *et al.* (2008) relataram que as perspectivas futuras no Brasil são promissoras. Os autores observaram que, à medida que se realizem estudos incorporando as várias áreas de conhecimento envolvidas, surgem equipamentos mais baratos e com tecnologia compatível com as importadas, garantindo, assim, redução dos custos.

3.2 Sistema de posicionamento global (GPS)

Um dos requisitos para a aplicação da agricultura de precisão é a utilização de um sistema de posicionamento que permita a localização georreferenciadas com precisão suficiente para cada operação em todos os pontos e porções escolhidas dentro de uma área agrícola em cada situação em particular (STABILE; BALASTREIRE, 2006).

Schimalski, Loch e Sievers (2004) enfatizaram que a localização na superfície terrestre é uma necessidade antiga da humanidade. Já foram desenvolvidas várias técnicas de posicionamento na superfície, as quais envolveram a orientação através dos astros e da bússola. Para suprir tal necessidade de localização surgiu o posicionamento pelos satélites artificiais. O *Navigation Satellite Time and Ranging* - NAVSTAR e/ou *Global Positioning System* - GPS (Sistema Global de Posicionamento) são sistemas de propriedade e operação usados pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos. O GPS foi concebido a partir da década de 70 para substituir o TRANSIT, seu antecessor. É fruto da corrida armamentista e corresponde a um sistema de navegação baseado em satélites, operado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, além de ser uma ferramenta para uso militar que encontra usuários em vários segmentos da sociedade.

O sistema de posicionamento global consiste da triangulação de um conjunto de satélites, normalmente 24 satélites, que, através do cálculo da distância entre eles baseada na diferença de tempo de transmissão dos sinais entre o receptor do usuário e os satélites, determinam o posicionamento terrestre. No mínimo, são necessários três satélites para o

posicionamento, porém para aumentar a precisão de tempo e posicionamento, normalmente os receptores utilizam quatro satélites (MOLIN, 1998). Para que se possa utilizar um GPS para fins de AP, é necessário que esse tenha acuraria de, no mínimo, dois metros, sendo essa suficiente para a maioria das aplicações; em algumas aplicações agrícolas, pode ser necessário acuraria maior (STABILE; BALASTREIRE, 2006).

Com a atual melhora da precisão no georreferenciamento e a facilidade na aquisição de sinais de satélite, torna-se acessível e possível a adoção de ferramentas da agricultura de precisão.

3.3 Variabilidade espacial

Os processos e propriedades que regulam o desempenho das culturas no campo variam no espaço e no tempo (COELHO, 2005). A variabilidade espacial dos campos pode ser observada pelas diferenças de produtividade, fertilidade e incidência de plantas espontâneas (WERNER, 2004). Segundo Grego e Vieira (2005), o conhecimento da variabilidade dos atributos do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala. Portanto, ressalta-se a importância de mapear e manejar a variabilidade de cada fator de interesse, minimizando-a em níveis possíveis técnicos e economicamente (PIRES *et al.*, 2004).

Ortiz (2010) relata que a análise da distribuição espacial das variáveis, possibilita a distinção de regiões com menor e maior variabilidade e a geração de mapas de aplicação diferenciada de insumos agrícolas, levando-se em conta a quantidade de nutrientes necessária ao ótimo desenvolvimento do cultivo e a quantidade disponível nas áreas do talhão, promovendo a produtividade máxima, melhor uniformização da produção e maior eficácia dos recursos utilizados. Entre as diversas maneiras de conduzir a investigação da variabilidade, destacam-se a amostragem de solo em grade (grid), os mapeamentos de plantas espontâneas, de condutividade elétrica do solo e de compactação, o acompanhamento do desenvolvimento da cultura por sensoriamento remoto e, de forma mais difundida, o mapeamento da produtividade por ocasião da colheita (RODRIGUES, 2002).

Os processos e propriedades que regulam o desempenho das culturas no campo variam no espaço e no tempo. A mudança enfrentada pela agricultura de precisão é a adequada quantificação da variabilidade desses processos e propriedades e determinando

quando e onde as diferentes combinações são responsáveis pelas variações no desenvolvimento e produção das culturas (MULLA; SCHEPERS, 1997).

Pesquisas sobre a variabilidade dos parâmetros de fertilidade do solo têm indicado a necessidade de amostragens variando de 30 m a 100 m (SADLER *et al.*, 1998). Mulla e Hammond (1988) utilizaram malhas de amostragens espaçadas de 30, 60 e 120 m e concluíram que a última (120 m) apresentou baixa resolução para a elaboração de mapas de fertilidade de solo. Segundo Molin (2001), experiências de agricultores americanos indicam a utilização de 1 amostra.ha⁻¹ até 2,5 amostras.ha⁻¹. Com essas densidades amostrais eles têm conseguido detectar a variabilidade espacial contida nos talhões para o fator em estudo, quando aplicado agricultura de precisão.

Para o sucesso na aplicação dos conceitos de manejo por zonas uniformes, deve-se identificar o conjunto dos fatores mais importantes que influenciam as produtividades das culturas no campo. De acordo com Dampney e Moore (1999), os principais fatores causadores da variabilidade na produção das culturas podem ser classificados em três categorias: I - fatores fixos, difíceis de serem alterados (textura e profundidade do solo); II - fatores persistentes, que podem ser alterados (características químicas e físicas do solo: pH, nutrientes, densidade global, etc.); III - fatores sazonais, com alterações em curto espaço de tempo (clima e incidência plantas daninhas, pragas e doenças).

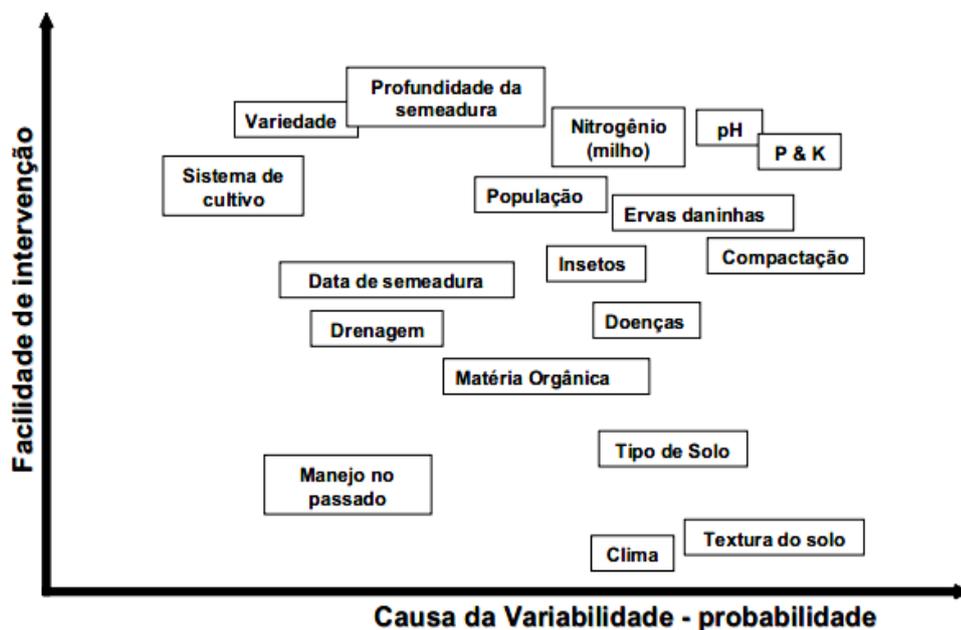


Figura 1 Exemplo de um caso de análise de fatores envolvidos na variabilidade espacial de uma lavoura e seus diferentes graus de probabilidade e de facilidade de correção e que devem ser definidos para cada caso.

Fonte: Molin (2003).

Um dos maiores custos da produção agrícola está relacionado à aplicação de agroquímicos, sendo normalmente recomendadas doses superiores às necessárias, para o controle eficiente de pragas, doenças e plantas espontâneas, o que além de aumentar os custos de produção pode causar sérios danos aos recursos naturais (DAINESE *et al.*, 2004).

A solução utilizada é focar grandes áreas e entendê-las como homogêneas, considerando a necessidade máxima para a aplicação dos insumos, tornando, por exemplo, a mesma formulação e dose aplicável em toda área (EMBRAPA, 2013a). Ao contrário, a AP foca a variabilidade espacial e temporal dos requerimentos de aplicação de insumos durante todo processo produtivo (GOEL *et al.*, 2003).

O uso da AP permite a aplicação de herbicidas, restritos a necessidades específicas, e em taxas variáveis, evitando excessos e tornando a agricultura ambientalmente mais correta, colaborando com a crescente preocupação ambiental da sociedade e aumentando a lucratividade da produção (EMBRAPA, 2013b).

O conhecimento da capacidade de interferência de plantas espontâneas sobre as culturas permite a definição de estratégias de controle destas com base no nível de dano econômico (NDE), ou seja, a densidade de plantas espontâneas cuja interferência sobre a cultura superará o custo do controle (RADOSEVICH *et al.*, 2007). Nordmeyer *et al.* (1997), citados por SALVADOR (2002), consideram as densidades de 20 plantas m⁻² de monocotiledôneas e 40 plantas m⁻² dicotiledôneas como sendo o nível econômico, a partir do qual se deve realizar o controle químico dessas plantas.

3.4 Variabilidade espacial de plantas espontâneas

A interferência das também chamadas plantas daninhas é um dos principais fatores que levam à redução da produtividade nas lavouras. Sabe-se que a competição entre as culturas e as plantas espontâneas causa perdas médias de, aproximadamente, 15% na produção mundial de grãos, além de que estas podem ser hospedeiras de pragas e de doenças (EMBRAPA, 2013b).

A prevenção e o controle do manejo adequado de plantas espontâneas deve se basear numa boa diagnose, isto é, numa correta identificação do agente causal do problema, na seleção do melhor método para controle e na utilização correta deste método.

Neste sentido, estudos da distribuição espacial de plantas daninhas têm demonstrado que o padrão de distribuição ao acaso raramente acontece (BALASTREIRE; BAIO, 2001; WILES; BRODHAL, 2004), pois está condicionado às diferenças específicas de cada ambiente.

Estudos realizados por Nordmeyer *et al.* (1997) e Clay *et al.* (1999) sugerem que as variações do número de plantas daninhas dentro de uma mesma área são recorrentes tendo, estas, apresentado distribuição agregada em “reboleiras”. Estudos geoestatísticos da distribuição de plantas daninhas permitem o seu mapeamento (CARDINA; SPARROW; McCOY, 1996; SCHAFFRATH *et al.*, 2007) e, inclusive, a adoção de práticas de manejo localizado (MILANI *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2008), o que pode reduzir o volume de herbicidas aplicados que podem atingir o solo (BALASTREIRE; BAI0, 2001).

Shiratsuchi, Fontes e Resende (2005) descreveram a estrutura de continuidade espacial da população de plantas daninhas e do banco de sementes, estabelecendo correlação entre elas, o que possibilitou fazer inferências acerca de futuras infestações. Nordmeyer *et al.* (1997) sugerem que esta distribuição contagiosa se deve principalmente a aspectos da biologia das plantas espontâneas, tais como: umidade do solo, topografia, tipos de solos, produtividade da cultura e outros. Assim, como a maioria das plantas espontâneas infesta as áreas agrícolas em “reboleiras”, surgiu a ideia do mapeamento de suas distribuições no campo, para fins de tratamentos a taxas variáveis, como estudos de variabilidade espacial de plantas espontâneas. A aplicação localizada de herbicidas só foi possível com os avanços da agricultura de precisão (KVIEN; BOYDELL; POCKNEES, 1997)

No mapeamento de infestações, além da localização das áreas de ocorrência, é importante conhecer aspectos da biologia das plantas espontâneas, tais como: níveis de infestação, graus de contagiosidade, espécies presentes e capacidade de reprodução destas espécies, influenciando o banco de sementes, e o seu comportamento em relação às condições edafoclimáticas. Os mapas de tratamento de herbicidas dependem muito das propriedades do solo e de correlações de vários fatores relacionados com a biologia das plantas que se pretende estudar (HEISEL; CRISTENSEN; WALTER, 1996). Para estabelecer o controle das plantas espontâneas, é importante correlacionar o mapa tratamento com mapas de anos anteriores.

Lutman e Perry (1999) dividiram as técnicas de mapeamento de plantas espontâneas em dois grandes grupos: I - Detecção manual, feita por amostragens dentro de quadros amostrais de acordo com o nível de infestação; neste método normalmente é feita a divisão da área em grades (grids) e a detecção visual pode ser auxiliada por unidades móveis como quadrículos ou colhedoras e; II - Detecção automatizada, feita por imagens aéreas obtidas a partir de unidades móveis de vôo de baixa altitude, satélites e outras formas de sensoriamento. O levantamento em grade de infestações é um importante método de mapeamento.

Após gerar os mapas, é possível traçar um plano de estudo na tomada de decisão de quais os herbicidas, doses e áreas em que devem ser empregados, de forma econômica e

sustentável, a fim de melhorar as condições de manejo da propriedade no que corresponde ao controle das plantas espontâneas (SCOTFORD; MILLER, 2005).

3.5 Mapeamento de plantas espontâneas

A habilidade de descrever e mapear a distribuição espacial das plantas espontâneas é o primeiro passo para a determinação da melhor metodologia para a aplicação localizada de herbicidas (BALASTREIRE; BAIIO, 2001; GARIBAY *et al.*, 2001). A tomada de decisão de controle das plantas espontâneas baseia-se em avaliações visuais da necessidade de controle (VOLL, *et al.*, 2003).

A metodologia de mapeamento, para posterior aplicação localizada de herbicidas, deve proporcionar um mapeamento rápido das plantas espontâneas, devido ao dinamismo das suas populações. Além disso, deve ser simples, facilitando a execução do mapeamento, havendo um período ideal para a sua execução, levando-se em consideração o momento da realização do controle das plantas espontâneas. Por outro lado, devido ao fator de escala econômica, deve ser uma metodologia que possa ser aplicada em áreas extensas (BALASTREIRE; BAIIO, 2001). Assim, o mapeamento, em relação à aplicação do herbicida, pode ser em tempo real ou por mapeamento prévio. Na aplicação localizada em tempo real, a pulverização é baseada em sensores acoplados ao pulverizador que detectam a planta espontânea, acionando a pulverização (ANTUNIASSI, 2002).

Vários sistemas usam reflectância espectral, câmeras com imagens digitais, como: as câmeras de vídeos, câmara de iluminação, imagens múltiplas de vídeo, visão computadorizada, imagens digitais de pequeno formato e imagens digitais multiespectrais, sendo todas ferramentas utilizadas no sensoriamento remoto. Como vantagens, apresentam maior rapidez na aplicação do herbicida e não necessidade de mapeamento prévio, pois considera a população estabelecida e possui facilidade de mapeamento para planejamento de futuras aplicações (SHIRATSUCHI, 2001). As limitações do método consistem de insuficiente sensibilidade dos sensores, alto custo de equipamentos e necessidade de constante calibração, em função das variações das características das superfícies de aplicação (ANTUNIASSI, 2002).

O princípio da refletância espectral se baseia na luz vermelha que é absorvida pela clorofila da planta em contraste com a proporção de luz infravermelha próxima que é refletida (SCOTFORD; MILLER, 2005). Os autores relatam ainda que a maioria das medidas usadas para comprimento de onda visível varia entre 400-700 nm e regiões do infravermelho próximo 700-2500 nm do espectro eletromagnético. Técnicas de refletância

espectral podem ser utilizadas para detecção e identificação de plantas espontâneas e, com isso, diminuir potencialmente o uso de herbicidas (SCOTFORD; MILLER, 2005).

Em condições de campo, a metodologia do reflexo multiespectrográfico com imagem espectrográfica, classificou corretamente 80% da cultura e 91% de plantas espontâneas, promovendo uma redução de até 90% na dose herbicida. O mapeamento prévio da infestação de invasoras consiste no levantamento antecipado (reboleiras) de plantas espontâneas e permite planejar a melhor forma de seu controle na área levantada (SHIRATSUCHI; MOLIN; CHRISTOFFOLETI, 2004).

Segundo Shiratsuchi, Fontes e Resende (2005), a metodologia para mapear plantas espontâneas durante a colheita é muito utilizada, pois aproveita a operação da colheita para a realização do mapeamento.

O levantamento de plantas espontâneas pode ser realizado contornando as “reboleiras” formadas, com um veículo equipado com DGPS (BALASTREIRE; BAILO, 2001). Segundo os autores, a metodologia mostrou-se adequada às condições analisadas, pela qual se podem obter mapas de infestação para a aplicação localizada de herbicidas, sendo que o tempo para conclusão do mapeamento esteve diretamente relacionado à complexidade da distribuição das plantas espontâneas.

Outro método que pode ser utilizado é o uso de fotografias aéreas, que proporciona alta resolução espectral e espacial e também distorções relacionadas a projeções cônicas, ao posicionamento da aeronave e ao relevo da superfície terrestre. Como consequência, os objetos não aparecem na fotografia em suas posições reais, acarretando variações de escala (CARVER, 1988). A coleta de imagens aéreas para identificação de manchas de plantas espontâneas pode ser realizada a partir de inúmeras plataformas, como aeromodelos radiocontrolados, pequenas aeronaves e balões. Vilela *et al.* (2006), utilizando fotografias aéreas, compuseram um mosaico aerofotogramétrico que foi georreferenciado e classificado, gerando um mapa de distribuição de plantas infestantes com exatidão de 88%.

A divisão da área agrícola em quadrículos ou em pequenas células de amostragem gera uma grade pré-determinada e georreferenciada na qual são feitas amostragens sistemáticas sobre as plantas daninhas, resultando num conjunto amostral capaz de representar a referida área (SHIRATSUCHI, 2001). Porém, é um processo muito demorado e trabalhoso para ser realizado em grandes áreas, sendo posteriormente convertidas em um mapa de infestação de plantas espontâneas. Neste mapeamento, pelo método de amostragem em grade, a definição da área mínima de amostragem dentro da grade amostral é definida como sendo a área em que a composição de espécies da comunidade de plantas em estudo é satisfatoriamente representada (BARBOUR *et al.*, 1987).

Segundo Stafford e Miller (1996), Christensen, Heisel e Benloch (1999) e Lutma e Perry (1999), esta metodologia, mapeamento em grid, é demorada e trabalhosa para ser

realizada em grandes áreas, principalmente se a grade for muito pequena, gerando um número de amostras inviável de se coletar na prática, pois, quanto menor a grade maior a resolução e confiabilidade.

Segundo Lutman e Perry (1999), a técnica de amostragens em grade é perfeitamente aceitável para fins de pesquisa, porém ainda existem limitações sobre sua utilização na prática para a confecção rápida de mapas de aplicações herbicidas, principalmente em áreas extensas.

Áreas amostrais mínimas para a realização do mapeamento das plantas espontâneas foram realizadas utilizando quadrados de 0,06 m² a 0,38 m² (GERHARDS *et al.*, 1996). Nordmeyer *et al.* (1997) sugerem a contagem em uma área amostral mínima de 0,25 m² por ponto amostral, conforme resultado de seus trabalhos, em que fizeram um mapeamento de plantas daninhas pelo método de amostragem em grade e, em uma das duas áreas estudadas pelo método de amostragens os mapas gerados mostraram necessidade de pulverização em apenas 60% da área. Na outra área experimental, 70% necessitaram de pulverização para dicotiledôneas e não se justificava pulverização localizada para monocotiledôneas, devido à infestação generalizada e uniforme em toda área. Heisel, Cristensen e Walter (1996), realizando um experimento numa área de 8 hectares, utilizando uma grade de 20 x 20 m e amostrador circular de 0,25 m², verificaram economias de herbicidas da ordem de 66 a 75% comparado com o sistema convencional.

Hamouz *et al.* (2006) testou diferentes tamanhos de amostragem em função do tipo de de interpolador e do tamanho da grade. Concluindo que o tamanho da grade apresenta mais influência na distribuição do que o tamanho das amostras. A redução do número de pontos de amostragem causou uma perda de qualidade do mapa em todos os casos, mesmo quando uma grade 80 x 80 foi usada. É evidente que o tamanho da amostra de 2 m² pode representar muito de perto a infestação em pontos da grade, quando comparadas com a amostra de 10 m². À primeira vista, o menor tamanho da amostra fornece mais detalhes do mapa. No entanto, estas variações são causadas pela microvariabilidade. Quando o tamanho da amostra diminui, a influência diminui ainda mais tornando os dados muito discrepantes, assim, o autor citado chegou a resultados em que amostras de 1 e 2 m² representam de forma adequada o conjunto.

Chiba, Guedes Filho e Vieira (2010) testou uma área de 3,42 hectares com grades de 10 x 10 m, verificando a distribuição das plantas daninhas, chegando a resultados que confirmam a possibilidade de utilização da geoestatística na determinação da distribuição espacial das plantas espontâneas.

Dille *et al.* (2003) utilizaram 0,38 m² e 0,76 m² para a comparação entre métodos de interpolação e verificaram que as áreas amostrais e as grades amostrais têm forte influência

sob áreas de alta infestação, concluindo também que os melhores resultados foram encontrados utilizando os métodos de interpolação krigagem e inverso da distância.

3.6 Análise estatística e geoestatística

A etapa fundamental que antecede a análise geoestatística é a realização de uma criteriosa análise exploratória dos dados, a fim de conhecer os elementos coletados nas amostras, utilizando-se técnicas que resumem e classificam o conjunto de dados coletados para que se obtenham as informações pertinentes que serão utilizadas na fase final do processo. A exploração dos dados é um enfoque para análise de dados que utiliza uma variedade de técnicas gráficas com objetivos determinados. Um deles é desenvolver modelos matemáticos adequados para uso no cálculo de probabilidades (VIEIRA, 1997).

A estatística descritiva ajuda a encontrar candidatos a *outliers* (pontos discrepantes) nos dados obtidos. Segundo Roman (1998), os pontos discrepantes são analisados e posteriormente excluídos ou não, dependendo do resultado da análise para não interferir no resultado final. São calculadas as medidas de peso (média, mediana, valor máximo e mínimo, quartis superior e inferior, amplitude e amplitude interquartil), dispersão (desvio padrão, variância e coeficiente de variação) e forma de dispersa (assimetria e curtose).

Para representar a dependência espacial nas amostragens, utiliza-se um tipo de estatística chamada geoestatística, que surgiu na África do Sul, quando o Engenheiro de Minas D. G. Krige, em 1951, trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentidos nas variâncias se não levasse em consideração a distância entre as amostras (FARIAS *et al.*, 2002). Matheron (1963), baseado nestas observações, desenvolveu uma teoria, a que chamou de Teoria das Variáveis Regionalizadas, que contém os fundamentos da geoestatística.

No início da década de 1990, começaram a ser desenvolvidas tecnologias e princípios para manejar as variabilidades espacial e temporal, associadas com os aspectos da produção agrícola. A produtividade das culturas varia espacialmente. Determinar as causas dessas variações é o desafio que enfrenta a Agricultura de Precisão. As variações espaciais podem ser estudadas através de técnicas geoestatísticas que permitem elaborar mapas e delimitar áreas de manejo diferenciadas (MILANI *et al.*, 2006).

A habilidade de descrever e mapear a distribuição espacial das plantas daninhas é o primeiro passo para o estudo de sua variabilidade espacial e da determinação da melhor metodologia para a aplicação localizada de defensivos, de acordo com a agricultura de precisão (BALASTREIRE; BAIIO, 2001). Com a adoção das técnicas e conceitos de

agricultura de precisão surgem questões sobre a interpretação do grande volume de informações e de como usá-las como ferramentas que auxiliem na tomada de decisão, frente à variabilidade espacial existente nas áreas agrícolas brasileiras (MILANI, *et al.*, 2006).

Quando um fator de interesse varia de um local para outro, com algum grau de organização ou continuidade, torna-se necessário utilizar as técnicas da geoestatística (GASTON *et al.*, 2001). Esta técnica baseia-se na teoria das variáveis regionalizadas, as quais correspondem à aplicação das funções aleatórias para a estimativa de fenômenos naturais (MATHERON, 1971).

Isaaks e Srivastava (1989) enfatizaram que a teoria fundamental da geoestatística corresponde à esperança de que, em média, as amostras vizinhas tanto no tempo como no espaço sejam mais semelhantes entre si, do que as que estiverem mais afastadas. Contudo, Ribeiro Junior (1995) deixa claro de que na geoestatística não se pode trabalhar com o princípio de independência, mas sim pela avaliação da associação de medidas.

Segundo Vieira (2000) a geoestatística é uma ferramenta importante para análise de dados no âmbito da agricultura de precisão, sendo que o objetivo da geoestatística aplicada à agricultura de precisão é caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo e das plantas e fazer estimativas, utilizando o princípio da variabilidade espacial a fim de identificar inter-relações desses atributos no espaço e no tempo, além de permitir o estudo de padrões de amostragem adequados.

Estudos geoestatísticos permitem o mapeamento da distribuição de plantas daninhas (CARDINA; SPARROW; McCOY, 1996). Silva *et al.* (2003) relataram que a geoestatística é uma ferramenta utilizada para estudar a variabilidade espacial, que possibilita a interpretação dos resultados, com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem.

Os mapas de distribuição espacial são gerados a partir de modelagem matemática por métodos de interpolação, ou seja, estimam-se valores para locais não amostrados, a partir de um determinado número de pontos observados em campo. A qualidade da estimativa depende tanto da escolha dos métodos de interpolação, como da aplicação apropriada dos métodos indicados para as características dos dados em estudo (SPEZIA *et al.*, 2012).

Inúmeros métodos de interpolação, com diversos níveis de complexidade, estão disponíveis na literatura. Para estudos de investigação de plantas espontâneas ou de solo, a krigagem e o inverso da distância elevado a uma potência (*Inverse distance weighting* - IDW) são utilizados com maior destaque (GOTWAY *et al.*, 1996; HEISEL; CRISTENSEN; WALTER, 1996).

O método de interpolação ideal deve calcular estimadores que estão próximos aos valores reais. Ou seja, a média e a variância dos resíduos (diferenças entre o previsto e os valores reais) deve ser próxima de zero. Esta comparação pode ser realizada apenas quando os dados de validação estão disponíveis e não foram incluídos no processo de interpolação antes. Se não houver dados adicionais disponíveis, o método de validação cruzada pode ser usado. Em um exercício de validação cruzada, o valor da amostra em um determinado local está temporariamente descartado, a partir dos dados da amostra estabelecidos e o valor neste local é então estimado, utilizando-se as amostras restantes. Valor estimado é então comparado com o valor da amostra verdadeira. Este procedimento é repetido para todas as amostras disponíveis (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

No método do inverso do quadrado da distância o fator de ponderação, como o nome já indica, é o inverso do quadrado da distância euclidiana entre o ponto conhecido e o estimado. É um interpolador univariado de médias ponderadas, que atribui aos pontos pesos fracionários, porém com soma igual a um (SILVA *et al.*, 2007).

Segundo Silva *et al.* (2007), o método de interpolação IDW é útil para a solução de problemas específicos. Entretanto, para cada problema, deve-se levar em conta a ocorrência da anisotropia e os parâmetros intrínsecos desse interpolador, de forma que seja atendida a necessidade em questão. A interpolação pelo inverso do quadrado da distância pode assumir ambas as características: exato ou suavizado, normalmente se comporta como um interpolador exato. Mas, quando necessário, utiliza-se o parâmetro suavização, o qual é um mecanismo para proteção desse comportamento (exato).

Silva *et al.* (2007) relataram que o inverso da distância é mais fácil de realizar, enquanto a Krigagem consome mais tempo e é mais complicada de ser aplicada. Por outro lado, a Krigagem faz uma descrição mais acurada da estrutura espacial dos dados e produz valiosa informação sobre a distribuição da estimativa do erro, por ser entendida como uma série de técnicas de análise de regressão que procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio, que leva em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço.

Segundo Roberts, Sheley e Lawrence (2004), o IDW utiliza a distância baseado no princípio de autocorrelação espacial, o que significa que locais não amostrados mais próximos das amostras tendem a ter condições mais semelhantes do que locais não amostrados mais longe. Contudo, o IDW tem sido satisfatório na interpolação para plantas espontâneas, mas isso pode ser mais difícil em locais cujos níveis de infestação são mais baixos, o que levaria a uma subestimação e a falhas de controle a campo. Roberts, Sheley e Lawrence (2004), porém, em seus estudos, não testaram a sensibilidade da previsão variando valor de potência IDW.

Boa parte dos trabalhos destaca que a krigagem apresenta resultados mais detalhados, quando comparada com o inverso do quadrado da distância, como Milani *et al.* (2006), no trabalho sobre krigagem e inverso do quadrado da distância na sua utilização em unidades de manejo, no qual observaram que a krigagem foi o método que propiciou os menores erros de interpolação dos parâmetros. Entretanto, Spezia *et al.* (2012) relataram que tanto a krigagem, como o inverso do quadrado da distância apresentam destaque de utilização na inferência de dados, sendo que o melhor depende principalmente do atributo a ser estimado. Do mesmo modo, Spezia *et al.* (2012) enfatizaram que o método do inverso do quadrado da distância também apresenta acurácia satisfatória, além de exigir uma análise mais simples, o que pode tornar o processo menos oneroso e, em alguns casos, proporcionar resultados semelhantes à krigagem.

Alguns trabalhos demonstram ser o inverso da distância mais eficiente que a Krigagem. Bazzi *et al.* (2013), para mapear a disponibilidade de P e K no solo, observaram superioridade no método do inverso da distância. Também Gotway e Hartford (1996) mostraram maior eficiência desse método no mapeamento do teor de matéria orgânica e NO^3 - no solo.

Dille *et al.* (2003) realizaram estudos para comparar o desempenho de quatro métodos de interpolação, nomeadamente: inverso da distância ponderação (IDW), krigagem ponto ordinário (OPK), curvatura mínima superfície (MC) e base radial multiquádricas função (MUL), no que diz respeito à sua capacidade de mapear as densidades de plantas daninhas. Estes métodos foram avaliados a partir de dados de quatro espécies de plantas daninhas, de níveis contrastantes de biologia e infestação em campos de produção de milho e soja em Nebraska - EUA. Entre os métodos de interpolação espacial comparada, nenhum pareceu superar ou ser mais preciso na geração de mapas de densidade de plantas daninhas. Claramente, o MC não era apropriado, enquanto que os outros três métodos realizaram a comparação igualmente bem. Entretanto, a superestimação de densidades de plantas daninhas em áreas de baixa densidade a campo é de menor preocupação, porque a maioria dos praticantes quer garantir que não existam plantas espontâneas negligenciadas para populações desiguais. Para o nível de baixa infestação, o IDW -2 (inverso da distância na segunda potência), o IDW -4 (inverso da distância na quarta potência) e os métodos de interpolação OPK e MUL foram adequados. Para as populações com alto nível de infestação, porque os dados disponíveis são menores, o IDW -2 e OPK possibilitaram maior precisão entre os métodos de interpolação.

3.7 Métodos para comparação de mapas temáticos

A criação de um mapa temático nasce da necessidade do planejador obter uma resposta a partir da associação de informações conhecidas. Diferentes mapas temáticos podem ser complementares no auxílio a uma tomada de decisão específica, da mesma forma que mapas temáticos iguais, gerados com certa periodicidade podem se constituir em ferramentas imprescindíveis ao monitoramento dos resultados de uma decisão já tomada (LOPES; LOPES, 2013).

Segundo Martinelli (2003), a busca do relacionamento entre os padrões de distribuição espacial exibidos pelos fenômenos é uma forma de explorar a informação, tendo em vista sua compreensão e explicação. Assim, podem-se confrontar distribuições que se relacionam ou que se contrapõem.

É desejável o estudo de metodologias que permitam a comparação de mapas temáticos gerados por técnicas diferentes, pois a comparação visual pode-se tornar subjetiva e as diferenças importantes entre os mapas podem ser ignoradas (DALPOSSO *et al.*, 2012).

A elaboração de mapas temáticos, incluindo mapas de vegetação, a partir de produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens orbitais, principalmente), tem se tornado uma atividade rotineira em todo o mundo (PONZONI; ALMEIDA, 1996). A comparação entre mapas têm sido preocupação de diversos especialistas pela sua utilidade na interpretação de qualquer banco de dados temático. Existem algoritmos disponíveis para a construção de mapas, mas não para a comparação entre os mapas (LOURENÇO; LANDIM, 2013).

Um dos aspectos ainda a serem desvendados é a influência conjunta da densidade amostral e de diferentes tipos de interpoladores na elaboração de mapas temáticos (COELHO *et al.*, 2009). Segundo Jones, Davis e Sabbah (2003), muitos artigos foram publicados comparando diferentes métodos de interpolação em uma grande variedade de tipos de dados. A maioria destes estudos envolveu comparações de métodos bidimensionais de interpolação. Os métodos mais estudados foram krigagem e inverso da distância elevado a uma potência (IDP). Oito estudos mostraram ser a krigagem o melhor método que, mesmo quando a krigagem se mostrou superior "na media", IDP foi superior sob determinadas circunstâncias. Dois dos estudos mostraram IDP superior à krigagem e seis dos estudos mostraram diferença muito pequena entre krigagem e IDP (COELHO *et al.*, 2009).

Segundo Souza e Souza (2011), a maior precisão das informações é adquirida quando se utiliza a interpolação por krigagem a partir de uma amostragem em grade. A krigagem é um método de interpolação considerado ótimo, pois estima valores para locais

não estimados sem tendência ou com variação mínima, sendo uma ferramenta importante para a agricultura de precisão, já que os resultados gerados por outros podem subestimar e superestimar a quantidade real de fertilizante ou insumo a ser distribuída a taxa variável.

A exatidão de mapas temáticos tem sido determinada a partir das chamadas matrizes de erros ou de contingência, as quais são constituídas por igual número de linhas e de colunas e representam o confronto entre o resultado da classificação de um produto de sensoriamento remoto (mapa temático) e a verdade terrestre ou outra informação considerada como referência. Uma vez tendo à disposição uma matriz de erros, são várias as possibilidades para a estimativa da exatidão de um mapa temático (PONZONI; ALMEIDA, 1996).

A associação entre dois mapas pode ser medida por meio do coeficiente de correlação entre todos os dados ou grupos de dados que os compõem. Correlação é uma medida empírica da intensidade da associação entre duas variáveis. Para que esta técnica estatística tenha validade, assume-se que existe na população uma dependência linear entre as variáveis. Esta é uma condição aceitável quando a amostra é obtida de uma população com distribuição normal bivariada, pressuposição difícil de acontecer nas condições atuais (CARVALHO; VIEIRA; MORAN, 2001).

Outra forma de efetuar a comparação de mapas é através da estimativa do parâmetro Kappa (k), fundamentado em critérios da análise multivariada discreta, que é utilizado como medida de concordância entre o mapa e a referência que se tem adotado para a estimativa da exatidão (PONZONI; ALMEIDA, 1996). Esse índice testa a associação entre mapas e a análise da exatidão dos mapas é obtida pelas matrizes de confusão ou matrizes de erros, sendo posteriormente calculado o índice kappa de concordância (CONGALTON; GREEN, 1993).

Segundo Carvalho, Vieira e Moran (2001), o índice Kappa varia de 0 a 1, 0 indicando que os resultados acontecem totalmente ao acaso e 1 indicando concordância perfeita, definidos pela Equação 1 (SPEZIA *et al.*, 2012). O índice kappa é um dos parâmetros mais utilizados e eficientes para quantificar a exatidão de levantamentos de uso da terra (SPEZIA *et al.*, 2012). Têm-se também os métodos de classificação cruzada coeficiente de similaridade de Qui-Quadrado e Cramer etc. Entretanto, todos dependem de certas condições pré-estabelecidas que são difíceis de acontecer para dados temporal e espacialmente dependentes (CARVALHO; VIEIRA; MORAN, 2001).

Por meio da análise de regressão linear múltipla, Brower e Merriam (2001) compararam mapas de contorno estrutural, a fim de compreender a história geológica de uma região.

Segundo Coelho *et al.* (2009), um parâmetro que pode ser aplicado para a comparação de dois mapas temáticos é o coeficiente de desvio relativo (CDR), que

expressa a diferença média, em módulo, de valores interpolados em cada mapa e considera um deles como mapa padrão. Quanto mais baixa a percentagem encontrada maior a semelhança entre eles. Estes autores observaram que o CDR mostrou-se eficiente na comparação de mapas, o que possibilitou concluir que, para utilizar todo o potencial da krigagem e esse método possa ser recomendado, é necessário que haja muitos pontos para que um bom semivariograma seja construído.

Dalposso *et al.* (2012) utilizaram medidas derivadas da matriz de erro para comparar dois mapas temáticos construídos por métodos geoestatísticos. Um mapa foi gerado com todas as amostras e definido como um mapa de referência e o outro foi gerado sem dois pontos detectados como influente pela técnica de diagnóstico de influência local e definido como modelo. Estes pesquisadores obtiveram que o estudo de pontos influentes é de fundamental importância para obter uma estimacão mais precisa, e a utilização de medidas obtidas da matriz dos erros é uma adequada opção para realizar comparações entre mapas temáticos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram coletados em três propriedades rurais denominadas áreas A, B e C, todas pertencentes ao município de Realeza, localizado no sudoeste do Paraná (Figura 2). As áreas foram escolhidas de forma aleatória e sem interferências, nas técnicas de manejo aplicadas pelos produtores, quanto aos itens a serem avaliados, dicotiledôneas e monocotiledôneas. Sendo que a seleção levou em considerações apenas características como o acesso, tamanho da área e sistema de cultivo, de forma a facilitar as amostragens de solo e plantas espontâneas, uma vez que as mesmas foram feitas em 2012 e 2013. As avaliações foram realizadas no período de pós-colheita da safra de inverno e pré-dessecação da safra verão (outubro-novembro).

De acordo com dados do IBGE (2012), a região caracteriza-se por um clima subtropical úmido, mesotérmico, com verões quentes e invernos amenos, sendo pouco frequentes as geadas. As chuvas concentram-se nos meses de verão e não há estação seca definida. A temperatura média é superior a 22 °C no verão e fica em torno de 18 °C no inverno. A precipitação pluviométrica média é de 2300 mm ano⁻¹ (Dados da estação meteorológica da usina Salto Caxias- Salto do Lontra).

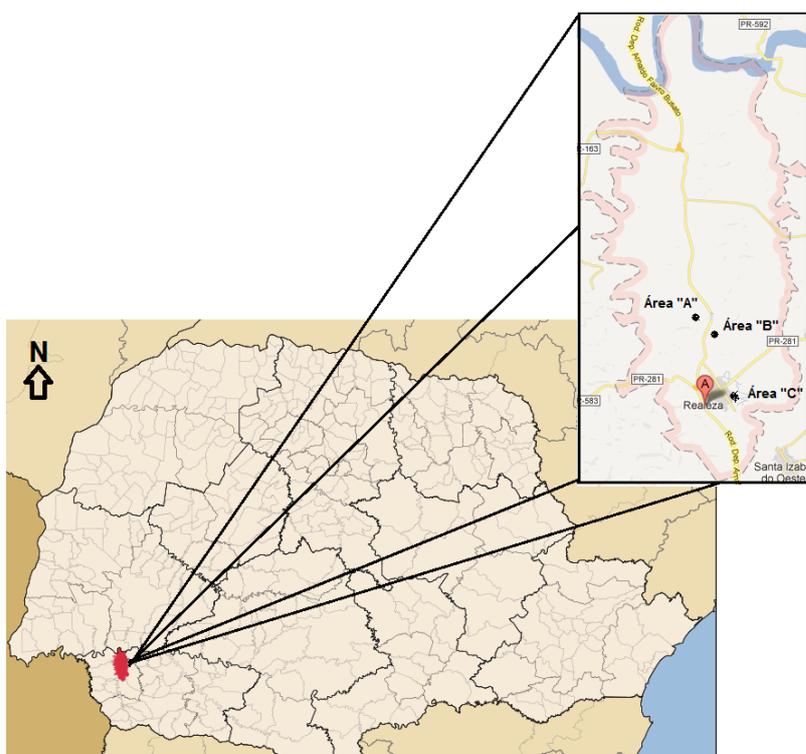


Figura 2 Localização do município de Realeza no estado do Paraná e das áreas experimentais dentro do município de Realeza.

Fonte: Adaptado de IBGE (2013).

4.1 Caracterização da área A

A área amostral denominada neste trabalho como área A pertence a Francisco Lima e possui 7,95 ha (hectares). Está localizada na linha São Roque, município de Realeza - PR, com coordenadas geográficas centrais de longitude 53° 33' 00" O e latitude 25° 42' 17" S e elevação média de 455 m (Figura 3). Foi semeado trigo (*Triticum aestivum* L) com ciclo fisiológico de, aproximadamente, 120 dias, no dia 25 de maio de 2012. Para o manejo de invasoras da cultura de inverno, foi utilizado em pós-emergência metsulfuron-metil 4g ha⁻¹. A colheita foi realizada dia 28 de setembro de 2012.

Nos dias 12 a 14 de outubro de 2012, foi efetuada a amostragem para plantas espontâneas (15 dias após colheita); no dia 17 de outubro de 2012 foi realizada a amostragem de solo (20 dias após colheita). Posteriormente, no dia 18 de outubro de 2012, o produtor realizou a dessecação com 2 L ha⁻¹ de glifosato + 1 L ha⁻¹ de 2,4D, antes da semeadura da safra verão, soja (*Glycine Max* L), com ciclo fisiológico de, aproximadamente, 130 dias, que foi semeada no dia 28 de outubro de 2012 (10 dias após a dessecação). Após a colheita de soja, a área foi dessecada em 15 de maio de 2013 com 2 L ha⁻¹ de glifosato + 1,5 L ha⁻¹ de 2,4D. No dia 20 de julho de 2013 foi semeada aveia branca (*Avena sativa* L) com ciclo fisiológico de, aproximadamente, 120 dias, com o propósito de adubação verde. A aveia foi dessecada com 2 L ha⁻¹ de glifosato na fase de início de enchimento de grão. As amostragens de solo e plantas espontâneas foram realizadas dia 14 de outubro de 2013.

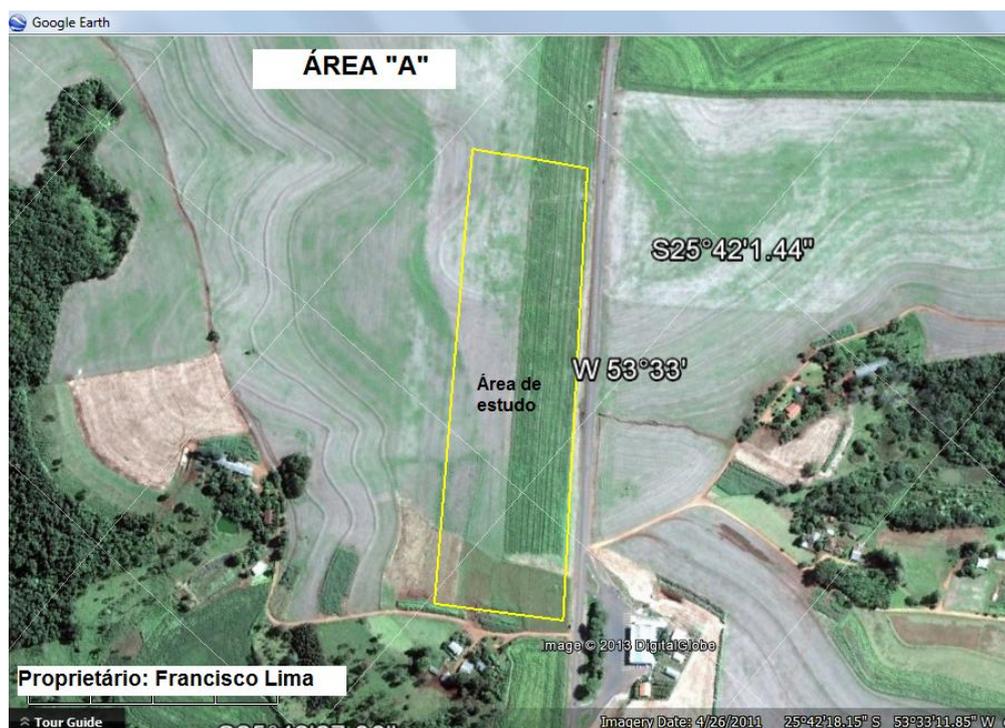


Figura 3 Área amostral “A” com tamanho de 7,95 hectares, localizada na linha São Roque, município de Realeza - PR.

Fonte: Google Earth (26/04/2011).

4.2 Caracterização da área B

A área amostral denominada neste trabalho como área B pertence a Robson Lorenzi e possui 7,6 ha (hectares). Está localizada na linha Sertaneja, município de Realeza - PR, com coordenadas geográficas centrais de longitude 53° 32' 39" O e latitude 25° 42' 29" S e elevação média de 454 m (Figura 4). Foi semeado trigo (*Triticum aestivum* L), com ciclo fisiológico de, aproximadamente, 120 dias, no dia 12 de junho de 2012. Para manejo de invasoras da cultura de inverno, foi utilizado em pós-emergência metsulfuron-metil 4g ha⁻¹. A colheita do trigo foi realizada em 2 de outubro de 2012.

Nos dias 20 a 21 de outubro de 2012, foi efetuada a amostragem para plantas espontâneas e amostragem de solo (18 dias após a colheita). Posteriormente, no dia 22 de outubro de 2012, foi realizada a dessecação com 2 L ha⁻¹ de glifosato + 1 L ha⁻¹ de 2,4D, antes da semeadura da safra verão, soja (*Glycine Max* L), com ciclo fisiológico de, aproximadamente, 130 dias, que foi semeada no dia 28 de outubro de 2012 (6 dias após a dessecação). Após a colheita de soja, a área foi dessecada em 10 de março de 2013 com 2 L ha⁻¹ de glifosato + 1,5 L ha⁻¹ de 2,4D. A semeadura do trigo foi realizada no dia 5 de

junho de 2013. Para o manejo de plantas espontâneas de inverno foi utilizada a aplicação do pós-emergente de metsulfuron-metil $4g\ ha^{-1}$. A colheita do trigo foi realizada em 8 de outubro de 2013. As amostragens para plantas espontâneas e para o solo foram realizadas nos dias 21 e 22 de outubro de 2013 (13 dias após a colheita).

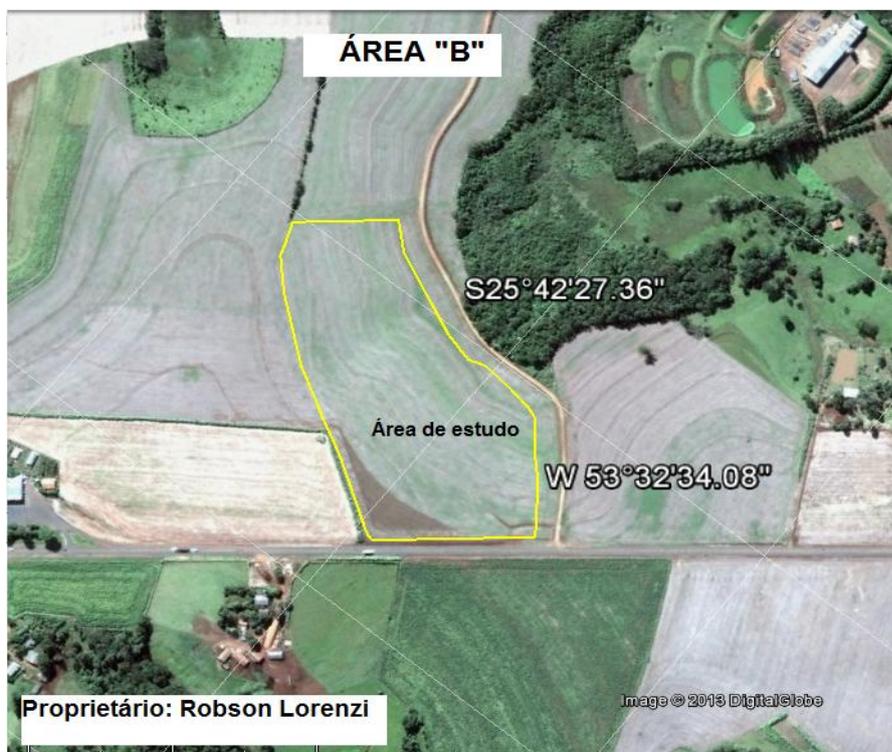


Figura 4 Área amostral “B” com tamanho de 7,6 hectares, localizada na linha São Roque, município de Realeza - PR.

Fonte: Google Earth (26/04/2011).

4.3 Caracterização da área C

A área amostral denominada neste trabalho como área C pertence a Ivan Pavan e possui 7,9 ha (hectares). Está localizada na linha Alto Sarandi, município de Realeza - PR, com coordenadas geográficas centrais de longitude $53^{\circ} 30' 35''$ O e latitude $25^{\circ} 46' 13''$ S e elevação média de 475 m (Figura 5). Em 2012, foi semeada com trigo (*Triticum aestivum* L) com ciclo fisiológico de, aproximadamente, 120 dias, em 10 de junho de 2012. Para manejo de invasoras da cultura de inverno, foi utilizado o pós-emergente metsulfuron-metil $4g\ ha^{-1}$. A colheita do trigo foi realizada 15 de outubro de 2012.

Nos dias 28 e 29 de outubro de 2012, foi efetuada a amostragem para plantas espontâneas e amostragem de solo (13 dias após a colheita). Posteriormente, no dia 22 de outubro de 2012 foi realizada dessecação com 2 L ha⁻¹ de glifosato + 1 L ha⁻¹ de 2,4D, antes da semeadura da safra verão, soja (*Glycine Max* L), com ciclo fisiológico de, aproximadamente, de 130 dias, que foi semeada dia 28 de outubro de 2012 (6 dias após a dessecação). Após a colheita de soja, a área foi dessecada com 2 L ha⁻¹ de glifosato + 1,5 L ha⁻¹ de 2,4D. O trigo foi semeado no dia 3 de junho de 2013. Para o manejo de plantas espontâneas de inverno, também foi utilizada a aplicação do pós-emergente de metsulfuron-metil 4g ha⁻¹. A colheita foi realizada no dia 10 de outubro de 2013. A amostragem de plantas espontâneas e amostragens de solo foram realizadas dia 28 de outubro de 2013 (18 dias após colheita).

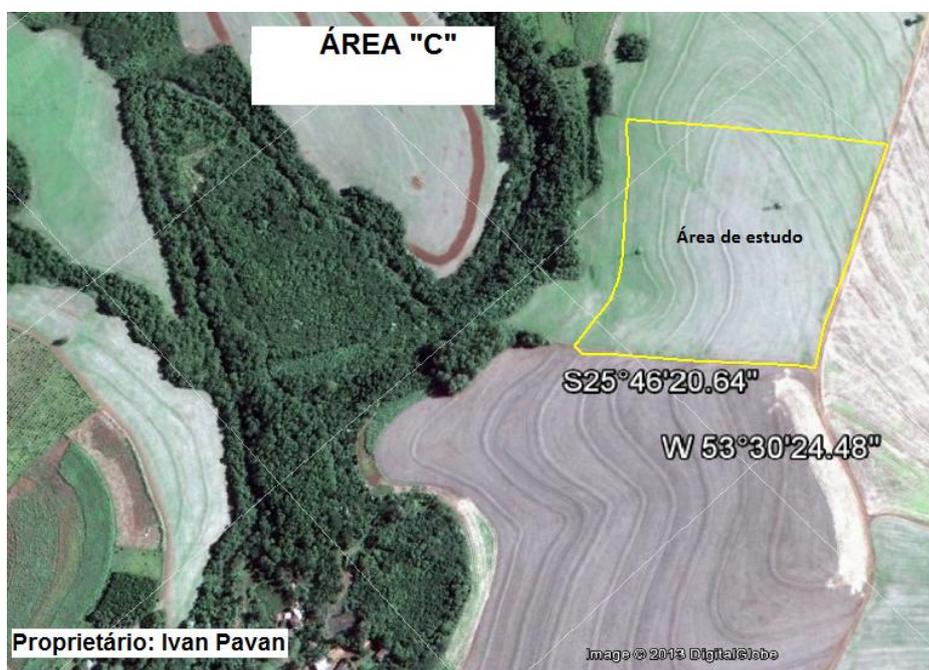


Figura 5 Área amostral “C” com tamanho de 7,9 hectares, localizada na linha Alto Sarandi, município de Realeza - PR.

Fonte: Google Earth (26/04/2011).

4.4 Construção das grades amostrais

As áreas foram medidas e georreferenciadas com um GPS Garmim 76CSx, com uma precisão aproximada de 2 m. Posteriormente, foi estabelecido no *software* TrackMaker PRO uma grade regular mínima de 10 x 10 m, utilizada como base para a

geração das outras grades; uma grade intermediária de 30 x 30 m e a grade máxima de 50 x 50 m para as amostragens de invasoras. Foram utilizados os mesmos dados para ambas as grades, sendo feita apenas a exclusão dos dados intermediários para a geração das grades de 30 m e 50 m (Figura 6). Obtendo, assim, mapas com menores densidades amostrais. As áreas A, B e C têm, respectivamente, 795, 760 e 789 pontos amostrais para a grade de 10 x 10 m. Para a grade de 30 x 30 m as áreas A, B e C possuem, respectivamente, 76, 86 e 90 pontos amostrais e a grade de 50 x 50 m das áreas A, B e C possuem 22, 26 e 22 pontos amostrais, respectivamente.

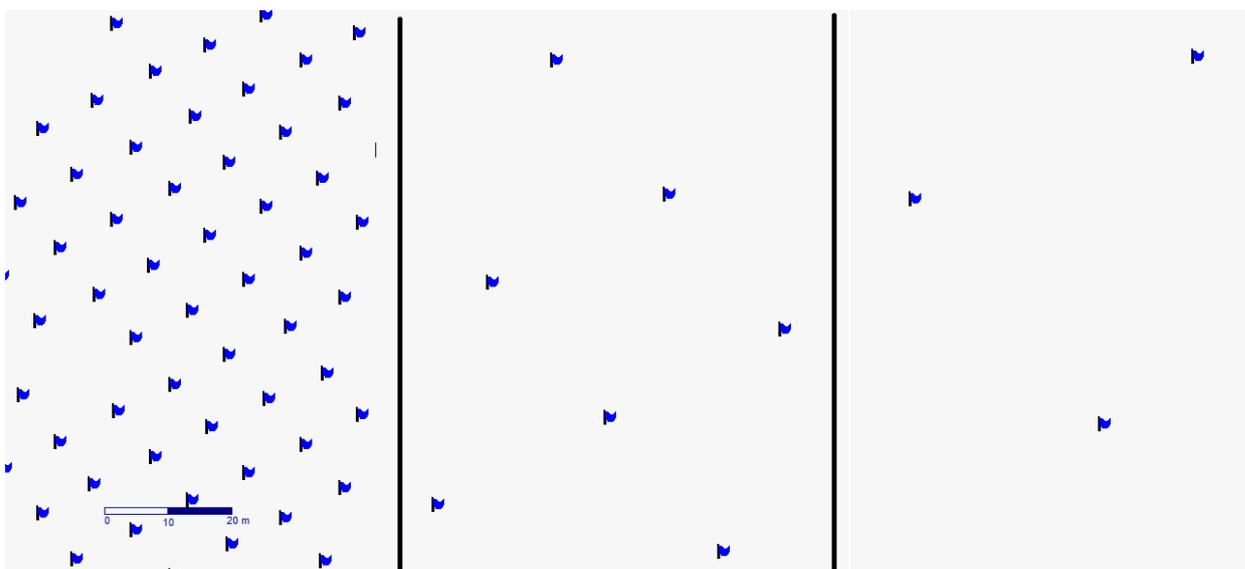


Figura 6 Retirada sistemática dos dados para a geração das grades com menores densidades amostrais, da esquerda para direita observa-se as grades de 10, 30 e 50 m.

4.5 Amostragens de plantas espontâneas

A contagem das plantas espontâneas foi realizada no mês de outubro dos anos de 2012 e 2013, após a colheita da safra de inverno e antes da dessecação para semeadura da safra verão. Foram realizadas 4 amostragens de um quadro 0,5 x 0,5 m, de forma aleatória em um raio máximo de 5 m em torno de cada ponto amostral (Figura 7), totalizando a contagem do nível de infestação em 1 m² por amostra georreferenciada, totalizando 2344 pontos amostrais de contagem de invasoras em cada ano.

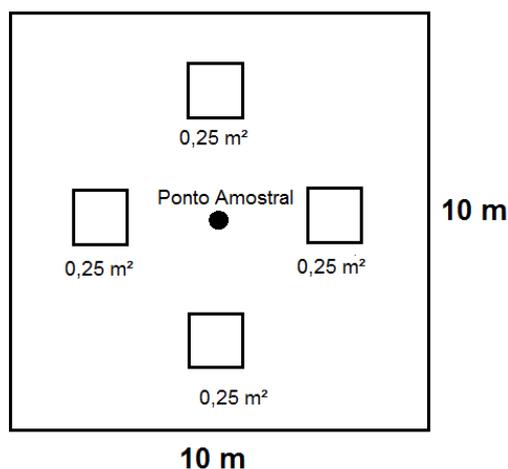


Figura 7 Sistematização da amostragem de plantas espontâneas.

Para interpretação dos resultados e confecção dos mapas, os dados foram tabulados e classificados em níveis de infestação em: baixa, média e alta, para monocotiledôneas e dicotiledôneas, de acordo com o número de plantas espontâneas encontrado em uma amostra (1 m²) (Tabela 2). Assim, os autores Fleck, Rizzardi e Agostinetto (2002), Agostinetto *et al.* (2005), Vidal *et al.* (2010) e Patel *et al.* (2010) sugerem que esforços deveriam ser concentrados em estimar o impacto de infestantes, quando presentes em densidades entre 1 e 20 plantas m⁻², pois, neste intervalo, encontra-se a maior parte dos níveis de danos econômicos causados pelas mais variadas espécies de plantas espontâneas.

Tabela 1 Classificação dos níveis de infestação para monocotiledôneas e dicotiledôneas

Níveis de infestação	Monocotiledôneas (plantas m ²)	Dicotiledôneas (plantas m ²)
Baixa	0 a 10	0 a 5
Média	>10 a 20	>5 a 10
Alta	> 20	> 10

Fonte: Adaptada de Vidal *et al.* (2010) e Patel *et al.* (2010).

4.6 Amostragens de solo

O solo foi amostrado nos pontos de cruzamento de uma malha regular de 50 x 50 m georreferenciada e coletado com trado até a profundidade de 20 cm (MOLIN, 2001; SOUZA, 2011; SOUZA, 2012). As grades foram exportadas para o GPS, para a identificação dos

pontos amostrais, nível de campo. Para a amostragem de solo foi utilizada a grade 50 x 50 m (Figuras 8, 9 e 10), identificando-se os pontos amostrais a campo e retiradas 6 amostras simples de solo com um trado holandês até a profundidade de 0-20 cm (Figura 11), sendo misturadas em um balde, a fim de obter 1 (uma) amostra composta, que representasse cada ponto amostral.

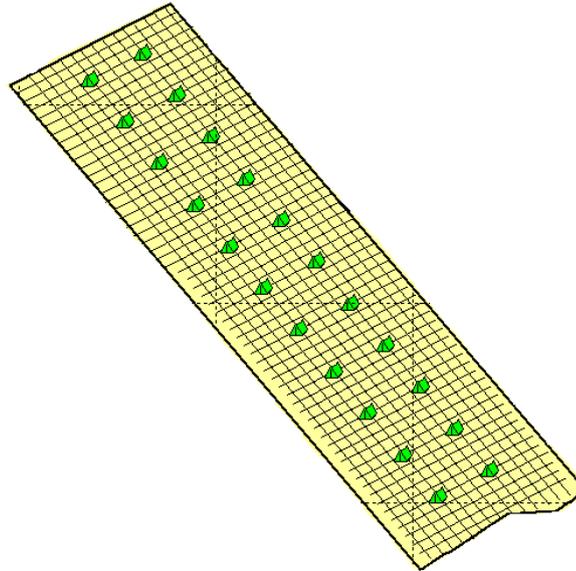


Figura 8 Pontos de amostragem de solo definidos de uma grade 50 x 50 m na área A.

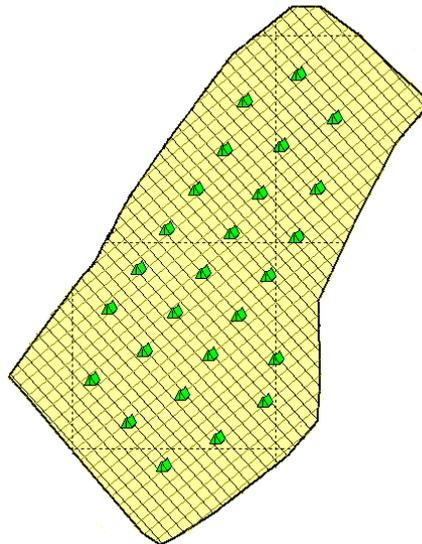


Figura 9 Pontos de amostragem de solo definidos de uma grade 50 x 50 m na área B.

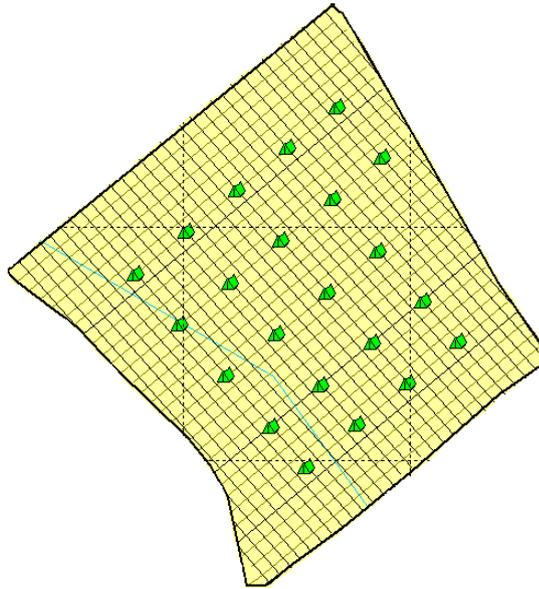


Figura 10 Pontos de amostragem de solo definidos de uma grade 50 x 50 m na área C.

Os dados tabulados totalizaram 420 subamostras para compor 70 amostras de solo compostas, tendo as áreas A, B e C, respectivamente, 22, 26 e 22 pontos amostrais de coleta de amostra de solo, para cada ano em cada área. As amostras foram colocadas em sacos plásticos e armazenadas em local fresco e seco e encaminhadas ao laboratório da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola - COODETEC nos dois anos, para a realização das análises químicas.

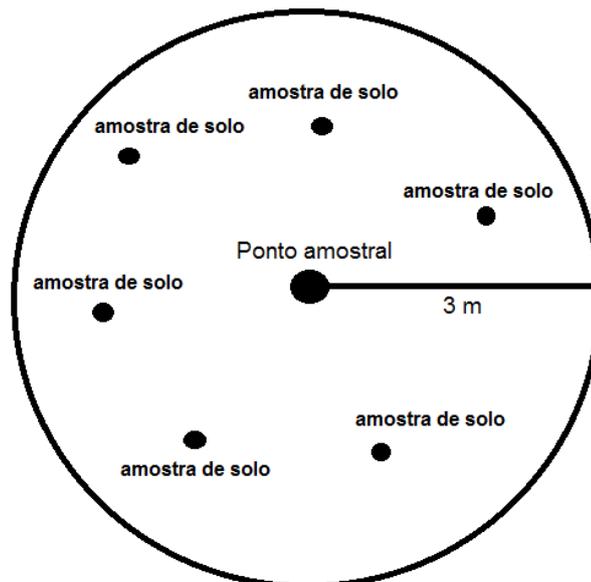


Figura 11 Sistematização da amostragem de solo em cada ponto amostral.

4.7 Análise estatística e geoestatística

Para cada conjunto de dados, realizou-se a análise exploratória, sendo calculada a medida de posição (média), de dispersão (desvio padrão) e de forma da distribuição (coeficiente de variação e variância). A hipótese de normalidade dos dados foi verificada com os testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de probabilidade, por meio do *software* Minitab 14. O coeficiente de variação (CV) foi considerado baixo, quando $CV \leq 10\%$ (homocedasticidade); médio quando $10\% < CV \leq 20\%$; alto quando $20\% < CV \leq 30\%$ e muito alto quando $CV > 30\%$ (heterocedasticidade) (GOMES; GARCIA, 2002).

Foram realizados testes de correlação espacial, para as três áreas, utilizando o programa SDUM ao nível de 5% para a verificação da correlação entre as infestações de monocotiledôneas e dicotiledôneas de cada ano com os atributos químicos (cobre, zinco, ferro, manganês, boro, carbono, alumínio, cálcio magnésio, fósforo, potássio e pH), também de cada ano; e atributos físicos (areia, silte e argila) do solo para verificação da existência da interação entre eles (BAZZI, 2013).

Para a geração dos mapas temáticos foi utilizado o interpolador inverso do quadrado da distância (IQD) na segunda potência, utilizando-se a janela de interpolação para 10 vizinhos (BAZZI *et al.*, 2013), no programa computacional *SURFER 8.0*. Como é de se esperar uma melhor qualidade de amostragem quanto maior for número de pontos, foi selecionada a grade de 10 m, pois possui maior densidade amostral, como referência para cálculo da perda de qualidade dos mapas pelo índice kappa.

Segundo Carvalho, Vieira e Moran (2001), o índice Kappa varia de 0 a 1, e 0 indica que os resultados acontecem totalmente ao acaso e 1 indica concordância perfeita. Definido pela Equação 1 (SPEZIA *et al.*, 2012):

$$K = \frac{\left\{ n \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i}) \right\}}{\left\{ n^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i}) \right\}} \quad (1)$$

em que:

r = número de linhas em uma tabela de classificação cruzada;

x_{ii} = número de combinações na diagonal;

- x_{i+} = total de observações na linha i ;
- x_{+j} = total de observações na coluna j ;
- n = número total de observações.

Landis e Koch (1977) sugeriram a seguinte interpretação para os valores do índice kappa, apresentada na Tabela 3.

Tabela 2 Nível de concordância do índice kappa (k)

Valores do índice kappa	Interpretação
< 0	Nenhuma concordância
0 - 0,19	Baixa concordância
0,20 - 0,39	Concordância parcial
0,40 - 0,59	Concordância moderada
0,60 - 0,79	Concordância ótima
0,80 - 1,00	Concordância perfeita

Fonte: Landis e Koch (1977).

O índice kappa é um dos parâmetros mais utilizados e eficientes para quantificar a exatidão de levantamentos de uso da terra (SPEZIA *et al.*, 2012). A justificativa é que o objetivo foi estimar afastamentos de mapas temáticos utilizando outros interpoladores como o inverso do quadrado da distância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dados agrometeorológicos

A precipitação anual de 2012 foi de 1610 mm (milímetros), sendo a média mensal aproximada de 134 mm; no ano de 2013 a precipitação anual foi de 1991,2 mm, sendo a média mensal aproximada de 165 mm (Figura 12). Em ambos os anos, as amostragens para emergência de plantas espontâneas e solo foram realizadas no período do mês de outubro. Observou-se uma diferença aproximada de 89 mm do ano 2012 para o ano de 2013 no regime de chuvas, sendo o ano de 2012 o mais chuvoso no período das amostragens.

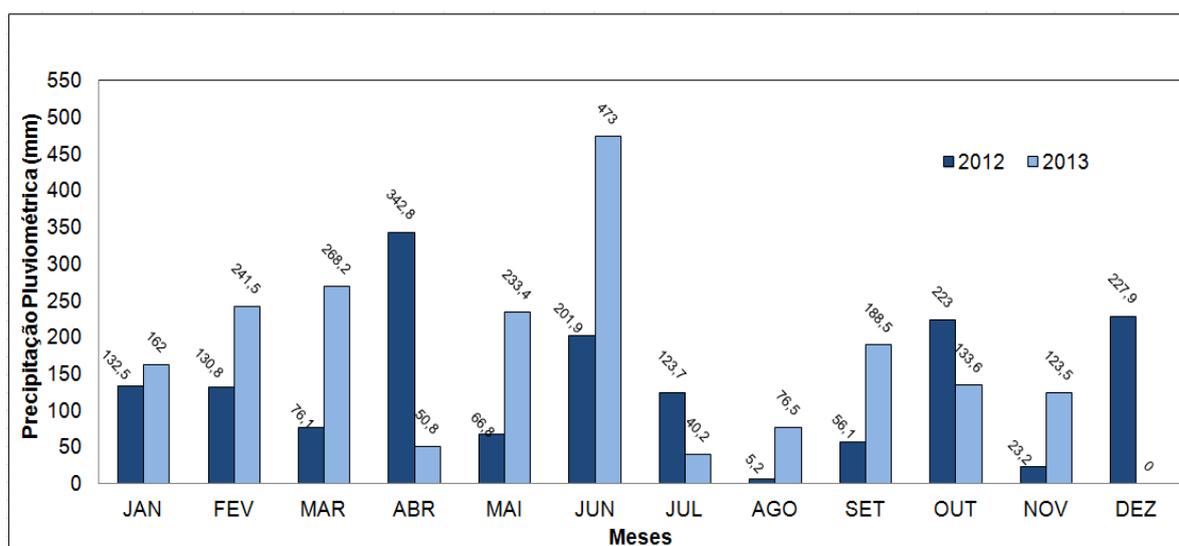


Figura 12 Precipitação pluviométrica nos anos de 2012 e 2013, para o município de Realeza - PR.

A temperatura média anual de 2012 foi de 22,4 °C, sendo registrada a máxima de 37,4 °C e a mínima de 2,1 °C. Para o ano de 2013, a temperatura média anual foi de 21,3 °C, com máxima de 35,9 °C e mínima de 0,7 °C (Figura 13).

Para o mês de realização das amostragens (outubro) a temperatura máxima média foi de 29,0 °C e a temperatura mínima média de 17,7 °C no ano de 2012. Em 2013, a temperatura máxima média foi 27,4 °C e a temperatura mínima média 16,6 °C. A temperatura média mensal em outubro foi 23,4 °C para o ano de 2012 e de 22,0 °C para

2013, portanto na média das temperaturas, o mês de outubro do ano de 2012 foi 1,4 °C mais quente que o ano de 2013. Para os anos de 2012 as médias de máximas e mínimas foram superiores às do ano de 2013, contudo em ambos os anos as variações estão dentro do esperado para o clima da região, não sendo caracterizado nenhum tipo de anormalidade. Segundo Grego e Vieira (2005), fatores como temperatura e pluviosidade são fatores fundamentais para caracterização das áreas estudadas, quando se trata de plantas espontâneas, uma vez que estes fatores têm influência direta na germinação das sementes das plantas.

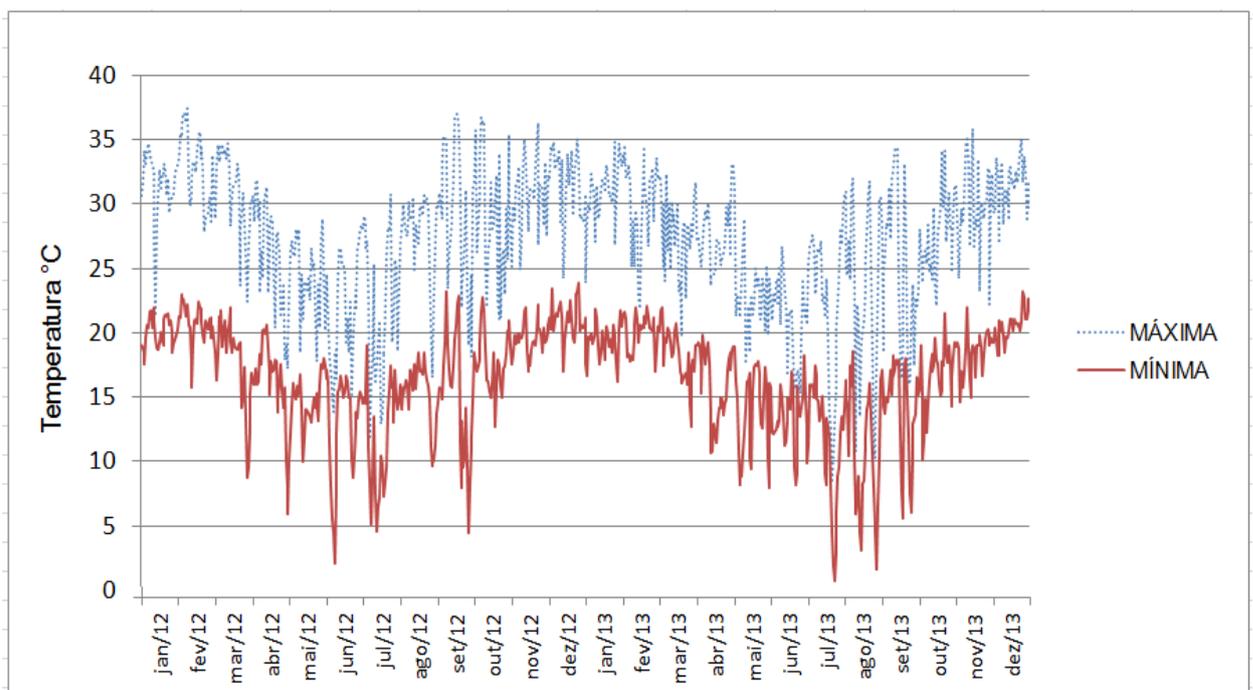


Figura 13 Temperaturas máxima e mínima nos anos de 2012 e 2013, para o município de Realeza - PR.

5.2 Estatística descritiva

Os dados de plantas espontâneas submetidos ao teste de Anderson-Darling e Kolomogorov-Smirnov a 5% foram classificados como normais. A média de folhas largas para as áreas A, B e C no ano de 2012 foi, respectivamente, de 5,35; 7,07 e 8,48 plantas m^{-2} ; para o ano 2013 foi de 1,98; 2,68 e 4,87 plantas m^{-2} , respectivamente, para as áreas A, B e C. Sendo observada, uma redução na média de plantas folhas largas, o que ocorreu, provavelmente, devido ao uso de herbicidas mais eficientes no controle de plantas de folha larga como 2,4-D e metsulfuron-metil, como sugere Agostinetto *et al.* (2008).

Para o atributo folhas estreitas os valores médios para as áreas A, B e C no ano de 2012 foram, respectivamente, 15,92; 7,49 e 11,00 plantas m⁻²; no ano de 2013 as médias foram: 1,62 plantas m⁻² para a área A, 2,06 plantas m⁻² na área B e 1,48 plantas m⁻² para a área C.

No ano de 2012, foi observada uma grande quantidade de plantas espontâneas emergidas de trigo nas três áreas estudadas, oriundas da cultura anteriormente ali instalada. Assim, a redução na média de plantas de folha estreita, deve-se ao uso de herbicidas eficientes no controle de plantas de folhas estreitas como o glifosato e também pelo fato de que, no ano de 2012, houve a ocorrência de geadas na região, durante a fase reprodutiva e de enchimento de grãos da cultura do trigo, o que ocasionou danos na formação dos grãos. Grãos de menor densidade não eram passíveis de serem colhidos e foram perdidos durante a fase de trilha das colhedoras, permanecendo nas áreas estudadas, proporcionando maiores médias para este ano.

O desvio padrão nas três áreas para os dois anos em estudo variou de 3,09 a 9,27 plantas m⁻² para a variável folhas largas; para as folhas estreitas os desvios em torno da média foram de 1,96 a 22,43 plantas m⁻².

O coeficiente de variação (CV) dos dados para folhas largas nos anos de 2012 e 2013 nas áreas estudadas variaram de 92,70 % a 146,40 %; para plantas de folhas estreitas este valor foi de 82,77 % a 140,85 %. Esses altos valores de CV, provavelmente, ocorrem devido à desuniformidade da distribuição das plantas espontâneas de folhas largas e estreitas nos dois anos e nos três locais estudados. De acordo com Gerhards, Wyse-Pester e Johnson (1997), esta grande variação dos dados é típica nos estudos envolvendo plantas daninhas e reflete o seu tipo de distribuição em manchas ou reboleiras, o que também é constatado por Schaffrath *et al.* (2007).

Tabela 3 Análise descritiva de incidência das plantas daninhas

Áreas	Variável	N° pontos	Média (plts.m ⁻²)	Erro médio estimado	Variância	Desvio Padrão (plts.m ⁻²)	CV (%)	Mín. (plts.m ⁻²)	Máx. (plts.m ⁻²)
A	2012-FL	795	5,35	0,221	38,95	6,24	116,51	0	72
	2012-FE	795	15,92	0,796	503,32	22,43	140,85	0	122
	2013-FL	795	1,98	0,103	8,46	2,91	146,40	0	22
	2013-FE	795	1,62	0,109	9,50	3,08	89,85	0	24
B	2012-FL	760	7,07	0,336	85,92	9,27	130,95	0	78
	2012-FE	760	7,49	0,225	38,48	6,20	82,77	0	38
	2013-FL	760	2,68	0,112	9,56	3,09	115,02	0	24
	2013-FE	760	2,06	0,071	3,90	1,97	95,59	0	20
C	2012-FL	790	8,48	0,328	84,91	9,21	108,58	0	102
	2012-FE	790	11,00	0,498	195,30	13,97	126,97	0	134
	2013-FL	790	4,87	0,161	20,40	4,51	92,70	0	36
	2013-FE	790	1,48	0,071	3,87	1,96	132,51	0	13

Notas: Folha larga (FL), Folha estreita (FE), Porcentagem (%), Plantas por metro quadrado (plts.m⁻²), Coeficiente de variação (CV).

5.3 Plantas espontâneas encontradas nas áreas experimentais

Tabela 4 Espécies de plantas espontâneas encontradas nas áreas amostrais

Plantas Daninhas Anuais Monocotiledôneas	
Nome científico	Nome comum
<i>Brachiaria plantaginea</i>	Capim-Marmelada
<i>Cenchrus Echinatus</i>	Capim-Carrapicho
<i>Commelina benghalensis</i>	Trapoeraba
<i>Triticum aestivum</i>	Trigo
<i>Digitaria horizontalis</i>	Capim-colchão
Plantas Daninhas Anuais Dicotiledôneas	
Nome científico	Nome comum
<i>Bidens pilosa</i>	Picão-Preto
<i>Ipomoea sp.</i>	Corda-de-viola
<i>Euphorbia heterophylla</i>	Leiteiro
<i>Sida rhombifolia</i>	Guanxumba
<i>Sonchus oleraceus</i>	Falsa-serralha
<i>Ageratum conyzoides</i>	Mentrasto
<i>Alternanthera tenella</i>	Apaga-fogo
<i>Conyza bonariensis</i>	Buva
<i>Amaranthus sp.</i>	Caruru

5.4 Correlação espacial

Na Tabela 5, apresentam-se os valores de correlação espacial, para as folhas largas e folhas estreitas, com os atributos alumínio, areia, argila, cálcio, carbono, cobre, ferro, fósforo, magnésio, manganês, PH, potássio, silte e zinco.

Tabela 5 Correlação espacial entre folha larga/ folha estreita e os atributos do solo durante os anos em estudo em diferentes áreas de análise

Atributos	Folha Larga		Folha Estreita	
	2012	2013	2012	2013
ÁREA A				
Alumínio	- 0,021 ^(ns)	- 0,028 ^(ns)	- 0,063 ^(ns)	- 0,063 ^(ns)
Areia	0,013 ^(ns)	0,013 ^(ns)	- 0,093 ^(ns)	- 0,093 ^(ns)
Argila	0,014 ^(ns)	0,014 ^(ns)	0,013 *	0,130 *
Cálcio	0,016 ^(ns)	0,017 ^(ns)	0,077 ^(ns)	0,077 ^(ns)
Carbono	0,003 ^(ns)	0,002 ^(ns)	- 0,055 ^(ns)	- 0,052 ^(ns)
Cobre	- 0,041 ^(ns)	- 0,041 ^(ns)	- 0,146 *	- 0,146 *
Ferro	- 0,065 ^(ns)	- 0,066 ^(ns)	- 0,129 *	- 0,130 *
Fósforo	0,011 ^(ns)	0,011 ^(ns)	- 0,004 ^(ns)	- 0,005 ^(ns)
Magnésio	0,023 ^(ns)	0,023 ^(ns)	0,055 ^(ns)	0,056 ^(ns)
Manganês	- 0,005 ^(ns)	- 0,006 ^(ns)	- 0,092 *	- 0,092 *
PH	0,039 ^(ns)	0,04 ^(ns)	0,091 *	0,091 *
Potássio	0,024 ^(ns)	0,025 ^(ns)	0,108 *	0,109 *
Silte	- 0,038 ^(ns)	- 0,038 ^(ns)	- 0,061 ^(ns)	- 0,062 ^(ns)
Zinco	- 0,017 ^(ns)	- 0,017 ^(ns)	- 0,023 ^(ns)	- 0,023 ^(ns)
ÁREA B				
Alumínio	- 0,028 ^(ns)	0,014 ^(ns)	- 0,018 ^(ns)	- 0,006 ^(ns)
Areia	0,014 ^(ns)	0,016 ^(ns)	- 0,022 ^(ns)	- 0,004 ^(ns)
Argila	- 0,011 ^(ns)	- 0,0102 ^(ns)	0,012 ^(ns)	- 0,016 ^(ns)
Cálcio	- 0,018 ^(ns)	- 0,0028 ^(ns)	0,003 ^(ns)	- 0,045 *
Carbono	- 0,005 ^(ns)	- 0,027 *	- 0,044 *	- 0,003 ^(ns)
Cobre	0,021 ^(ns)	- 0,008 ^(ns)	0,039 ^(ns)	0,041 *
Ferro	0,029 ^(ns)	- 0,004 ^(ns)	0,056 ^(ns)	0,018 ^(ns)
Fósforo	- 0,026 ^(ns)	- 0,023 ^(ns)	- 0,014 ^(ns)	0,001 ^(ns)
Magnésio	0,017 ^(ns)	- 0,016 ^(ns)	0,014 ^(ns)	- 0,023 ^(ns)
Manganês	0,051 *	- 0,008 ^(ns)	0,009 ^(ns)	0,019 ^(ns)
PH	0,015 ^(ns)	- 0,006 ^(ns)	0,002 ^(ns)	- 0,009 ^(ns)
Potássio	0,019 ^(ns)	- 0,004 ^(ns)	- 0,022 ^(ns)	- 0,003 ^(ns)
Silte	0,009 ^(ns)	0,004 ^(ns)	0,001 ^(ns)	0,028 ^(ns)
Zinco	0,048 *	0,009 ^(ns)	0,002 ^(ns)	- 0,002 ^(ns)
ÁREA C				
Alumínio	0,004 ^(ns)	- 0,006 ^(ns)	0,036 *	0,015 ^(ns)
Areia	- 0,029 ^(ns)	- 0,025 ^(ns)	- 0,003 ^(ns)	0,005 ^(ns)
Argila	0,048 ^(ns)	0,041 ^(ns)	0,015 ^(ns)	- 0,023 ^(ns)
Cálcio	- 0,004 ^(ns)	- 0,033 ^(ns)	- 0,042 *	- 0,001 ^(ns)
Carbono	0,0534 *	0,021 ^(ns)	- 0,051 *	- 0,009 ^(ns)
Cobre	- 0,004 ^(ns)	- 0,039 ^(ns)	0,024 ^(ns)	- 0,005 ^(ns)
Ferro	- 0,092 *	- 0,005 ^(ns)	0,011 ^(ns)	0,021 ^(ns)
Fósforo	0,004 ^(ns)	0,021 ^(ns)	- 0,005 ^(ns)	- 0,028 ^(ns)
Magnésio	- 0,047 ^(ns)	- 0,019 ^(ns)	- 0,028 ^(ns)	0,037 ^(ns)
Manganês	- 0,047 ^(ns)	- 0,038 ^(ns)	- 0,015 ^(ns)	- 0,011 ^(ns)
PH	0,006 ^(ns)	- 0,017 ^(ns)	- 0,043 *	0,002 ^(ns)
Potássio	0,067 *	- 0,013 ^(ns)	- 0,024 ^(ns)	- 0,056 *
Silte	- 0,039 ^(ns)	- 0,033 ^(ns)	- 0,015 ^(ns)	0,021 ^(ns)
Zinco	- 0,048 ^(ns)	- 0,033 ^(ns)	- 0,021 ^(ns)	0,006 ^(ns)

Nota: *Significativos a 5% de probabilidade.

Conforme os dados do ano de 2012 (Tabela 5), o parâmetro folha larga não apresentou correlação com os atributos do solo para a área A; na área B observa-se correlação positiva com o manganês e zinco, $r = 0,051^*$ e $r = 0,048^*$, respectivamente; na área C a correlação direta foi observada para o carbono ($r = 0,0534$) e potássio ($r = 0,067$) e correlação inversa com o ferro ($r = -0,092^*$). Em relação à folha estreita, para o mesmo ano, a área A apresentou valores significativos para seis parâmetros, as áreas B e C para um e quatro atributos, respectivamente.

No ano de 2013, as folhas largas novamente não apresentaram correlação significativa com nenhum dos atributos do solo para as áreas A e C, já na área B a correlação inversamente significativa foi verificada para o carbono. Na área A as folhas estreitas apresentaram dados significativos com correlação positiva com a argila, PH e potássio, com valores variando de 0,91 a 0,13. A correlação negativa foi verificada para o cobre, o ferro e o manganês, com valores de -0,146, -0,130, e -0,092, respectivamente; Os demais atributos não apresentaram correlação significativa. Em relação à área B, verificou-se correlação significativa com o cálcio ($r = -0,045$) e cobre (0,041); na área C valores significativos foram observados somente para o potássio.

Os atributos do solo podem influenciar na composição da comunidade infestante e densidade de plantas daninhas da área agrícola; conhecer essa relação permitiria a escolha da melhor estratégia para o controle dessas plantas (LOUSADA, *et al.*, 2013). Os mesmos autores, ao correlacionar atributos do solo com a ocorrência de plantas espontâneas em áreas de cana-de-açúcar, verificaram que o pH influenciou negativamente a densidade de espécies encontradas durante o levantamento.

Shiratsuchi, Fontes e Resende (2005), no trabalho sobre correlação da distribuição espacial do banco de sementes de plantas daninhas com a fertilidade do solo, concluíram que as três plantas daninhas do estudo e os atributos (pH, Ca, Mg, K, P) apresentaram correlações significativas.

5.5 Comparação de mapas

5.5.1 Área amostral A

Os mapas representando os três níveis de infestação dos anos de 2012 e 2013 da área A, para plantas de folha larga (FL) e plantas folha estreita (FE), para as grades de 10, 30 e 50 metros, são apresentados nas Figuras 14 a 25.

No ano de 2013, é observado um aumento nas áreas de baixa infestação, em relação a 2012, para folhas largas de 32,3%, comparando-se os mapas A-2012-10-FL e A-2013-10-FL (Figuras 14 e 17) e para folhas estreitas de 43,8%, comparando-se os mapas A-2012-10-FE e A-2013-10-FE (Figuras 20 e 23).

A Figura 14 é a representação do mapa A-2012-10-FL, no qual se observa baixa infestação (menos de 5 plantas m^{-2}) em 57,6%, média infestação (5 a 10 plantas m^{-2}) em 29,8% e alta infestação (mais de 10 plantas m^{-2}) em 12,6%; em relação à área total, representando, respectivamente, 4,58, 2,37 e 1,0 ha (hectares), em medida de área. Sendo este, visualmente, semelhante ao mapa A-2012-30-FL (Figura 15), com baixa, média e alta infestação de 55,1% (4,38 ha), 38,5% (3,06 ha) e 6,4% (0,51 ha), respectivamente. Já no mapa A-2012-50-FL (Figura 16) observam-se níveis de infestação baixa de 44,1% (3,51 ha); média 38,7% (3,07 ha) e alta de 17,2% (1,37 ha). Visualmente, os mapas A-2012-10-FL e A-2012-30-FL são semelhantes, porém verifica-se um valor Kappa de 0,32 (Tabela 6), classificado como concordância parcial. A comparação dos mapas A-2012-10-FL e A-2012-50-FL não apresenta boa concordância visual, o que foi confirmado pelo valor Kappa de 0,30, classificado como concordância parcial, em que a exatidão global (Tabela 6) foi de 55,7%, significando que apenas 55,7% da classificação do mapa A-2012-10-FL se repetiu no mapa A-2012-50-FL, o que se deve à redução da densidade amostral.

Em 2013, a melhor comparação para os mapas de FL foi observada para as grades de 10 e 30 m, nas plantas folhas largas (Mapas A-2013-10-FL e A-2013-30-FL), que obtiveram uma exatidão global de 90,0%, onde o kappa é de 0,52 (concordância moderada). Esta diferença observada entre o kappa e a exatidão global decorre da eliminação da concordância em razão da casualidade para o cálculo do índice Kappa. Resultados semelhantes, encontrados por Vilela, Fonte e Shiratsuchi (2005), no mapeamento da distribuição espacial de plantas daninhas na cultura de soja, por meio de sensoriamento remoto, obtiveram Índices Kappa de 48,04% e Exatidão Global de 70,90%.

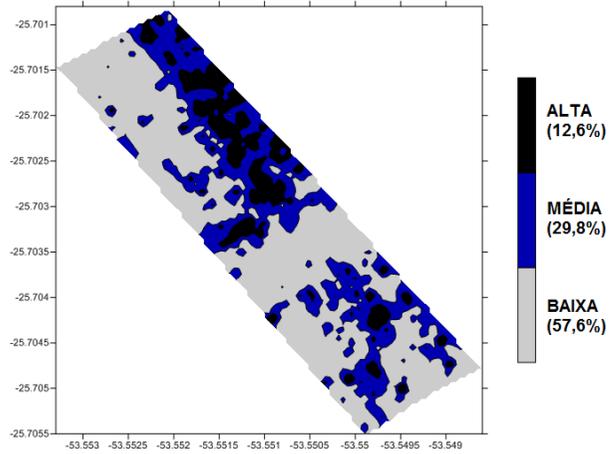


Figura 14 Área A-2012 - Folha larga grade de 10 m.

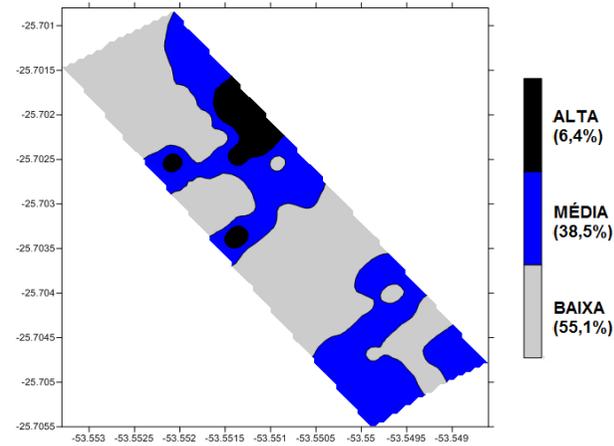


Figura 15 Área A-2012 - Folha larga grade de 30 m.

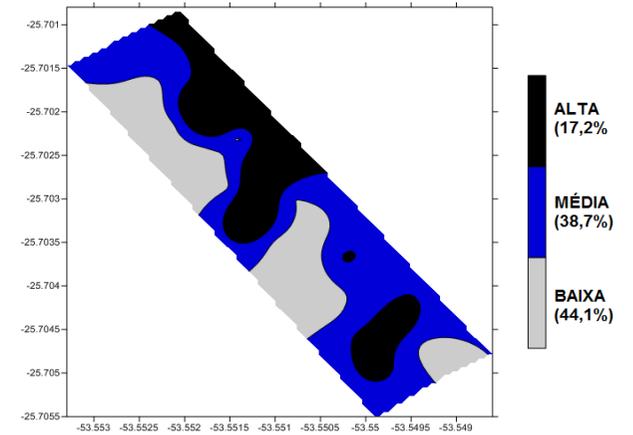


Figura 16 Área A-2012 - Folha larga grade de 50 m.

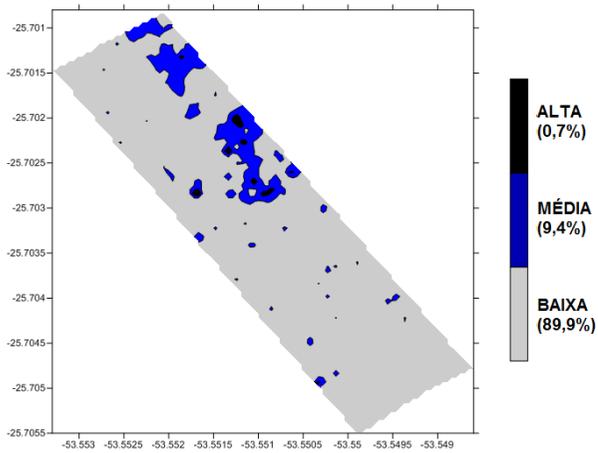


Figura 17 Área A-2013 - Folha larga grade de 10 m.

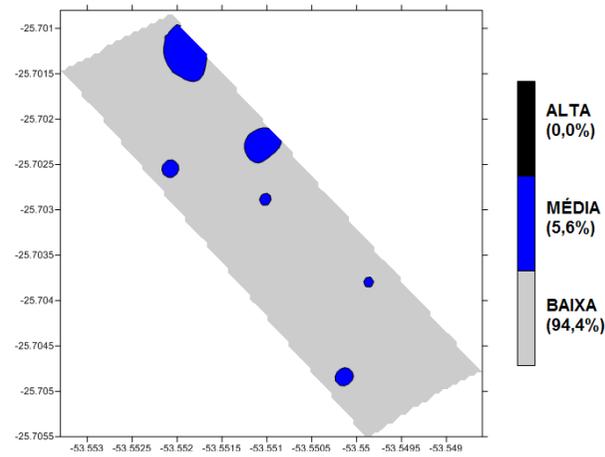


Figura 18 Área A-2013 - Folha larga grade de 30 m.

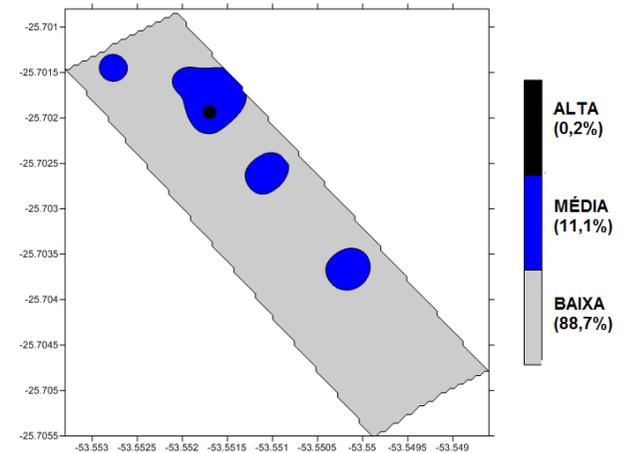


Figura 19 Área A-2013 - Folha larga grade de 50 m.

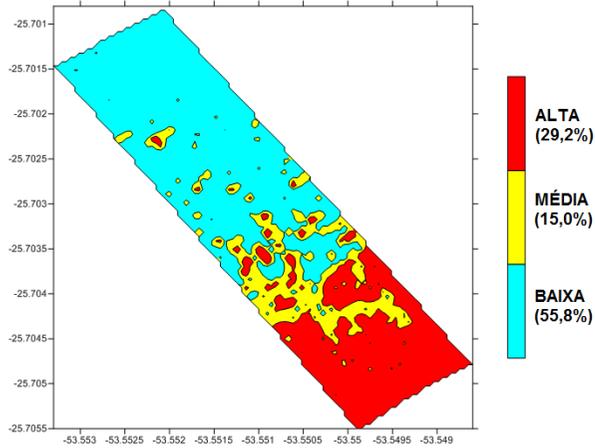


Figura 20 Área A-2012 - Folha estreita grade de 10 m.

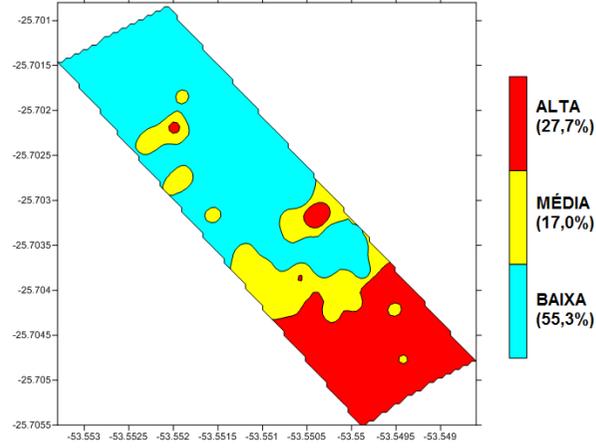


Figura 21 Área A-2012 - Folha estreita grade de 30 m.

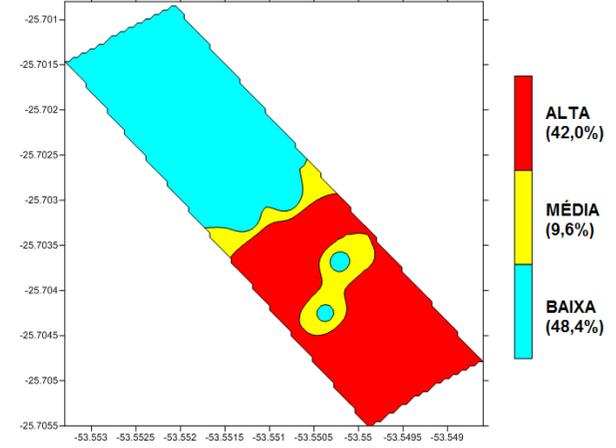


Figura 22 Área A-2012 - Folha estreita grade de 50 m.

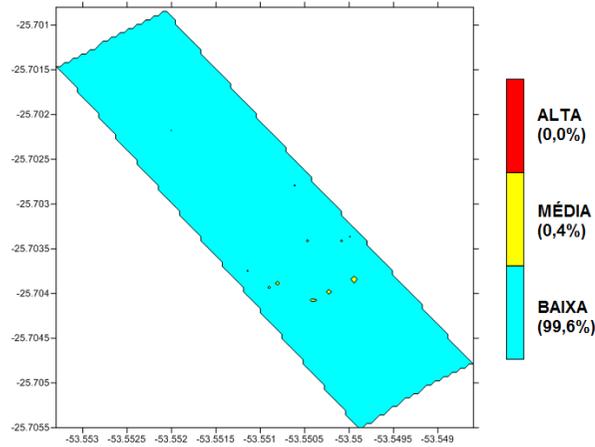


Figura 23 Área A-2013 - Folha estreita grade de 10 m.

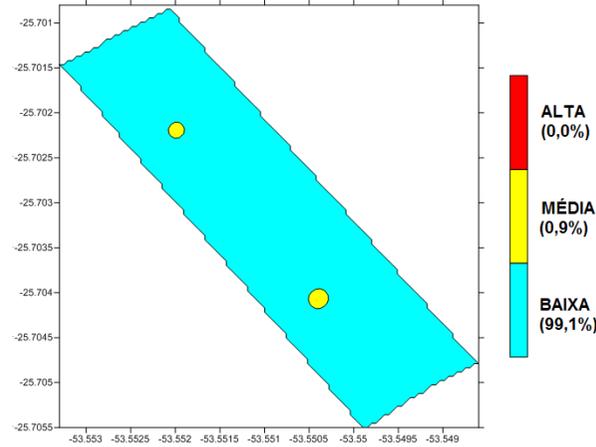


Figura 24 Área A-2013 - Folha estreita grade de 30 m.

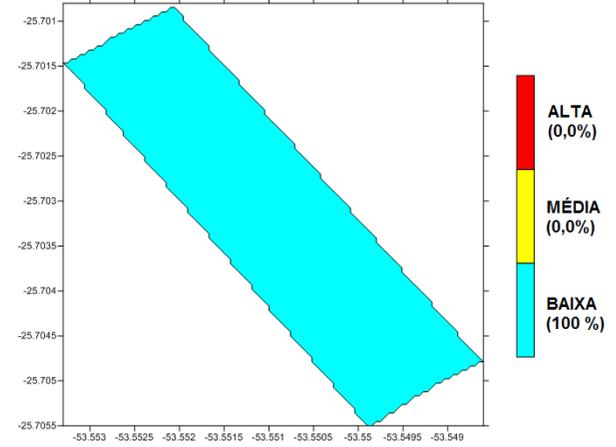


Figura 25 Área A-2013 - Folha estreita grade de 50 m.

5.5.2 Área amostral B

Os mapas representando os níveis de infestação dos anos de 2012 e 2013 na área B, para plantas de folha larga (FL) e plantas folha estreita (FE), para as grades de 10, 30 e 50 metros, são apresentados nas Figuras 26 a 37.

No ano de 2013 são observadas maiores áreas de baixa infestação, em relação a 2012, para folhas largas. O aumento foi de 35,7%, comparando-se os mapas B-2012-10-FL e B-2013-10-FL (Figuras 26 e 29) e para folhas estreitas o aumento foi de 19,3%, comparando-se os mapas B-2012-10-FE e B-2013-10-FE (Figuras 32 e 35).

A Figura 26 é a representação do mapa B-2012-10-FL, no qual se verifica cobertura de baixa infestação em 57,6%, média infestação em 29,8% e alta infestação em 12,6%, em relação à área total, não sendo visualmente semelhante ao mapa B-2012-30-FL (Figura 27). Já no mapa B-2012-50-FL (Figura 28) verificam-se níveis de infestação baixa de 47,8%, média de 39,3% e alta de 12,9%, sendo estas proporções semelhantes às observadas no mapa gerado com grade de 10 x 10 m, o que não significa que estas plantas estejam sendo representadas nos mesmo locais, o que foi confirmado pelo valor kappa de 0,07 (concordância baixa).

No mapa B-2012-10-FE, observa-se cobertura de baixa infestação em 80,6%, média infestação em 18,4% e alta infestação em 1,0%, em relação à área total. Comparando-se visualmente os mapas B-2012-10-FE e B-2012-30-FE, observa-se uma semelhança, confirmada na Tabela 6, onde são encontrados os valores de comparação das grades com exatidão global de 72,9% e valor Kappa de 0,26, classificados como concordância parcial. Para o mapa com grade de 50 x 50 m, o interpolador evidentemente efetuou o alisamento nos contornos das infestações deste estudo, tornando-o distinto do mapa referência (10 x 10 m), resultado semelhante ao obtido por Backes e Plumer (2004).

A comparação dos mapas B-2013-10-FE, B-2013-30-FE e B-2013-50-FE (Figuras 35, 35 e 37) apresenta boa concordância visual, o que foi confirmado pelo valor Kappa de 0,99, para as duas comparações, classificado como concordância perfeita, o que ocorre devido aos três mapas apresentarem predominância de zonas de baixa infestação, acarretando valores baixos para a média. Os dados possuem um baixo desvio padrão, quando interpolados os valores amostrais, e acabam gerando mapas com zonas extensas de uma única classe de invasoras, o que foi constatado por Schaffrath (2007).

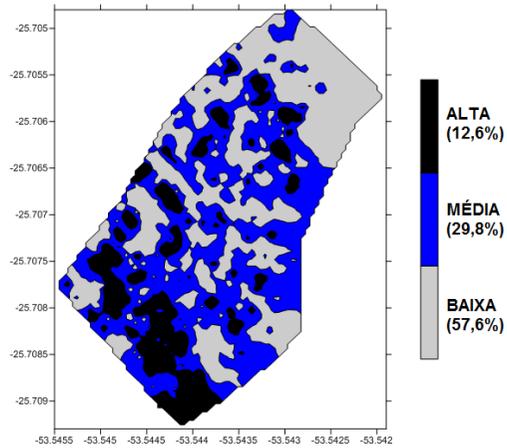


Figura 26 Área B-2012 - Folha larga grade de 10 m.

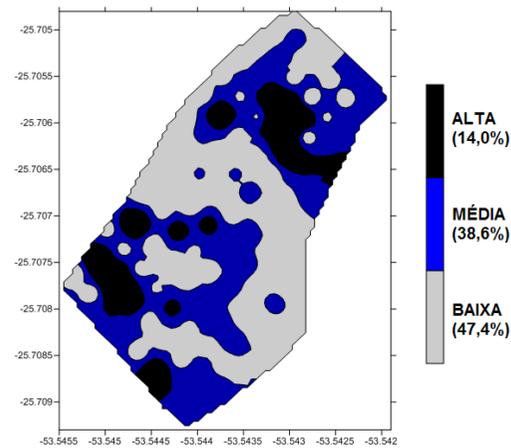


Figura 27 Área B-2012 - Folha larga grade de 30 m.

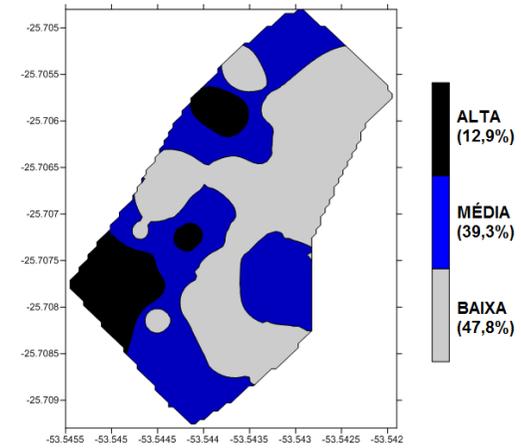


Figura 28 Área B-2012 - Folha larga grade de 50 m.

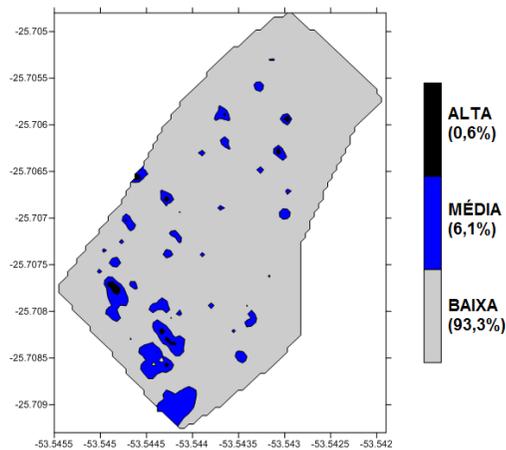


Figura 29 Área B-2013 - Folha larga grade de 10 m.

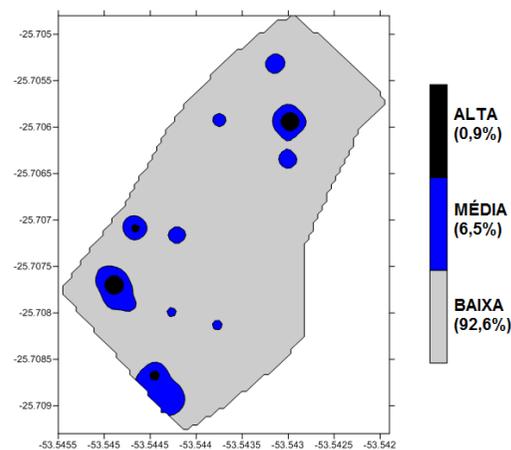


Figura 30 Área B-2013 - Folha larga grade de 30 m.

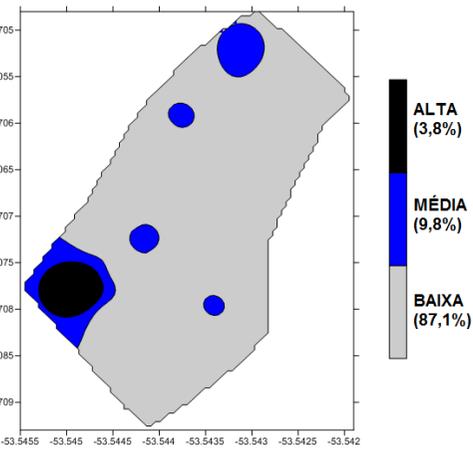


Figura 31 Área B-2013 - Folha larga grade de 50 m.

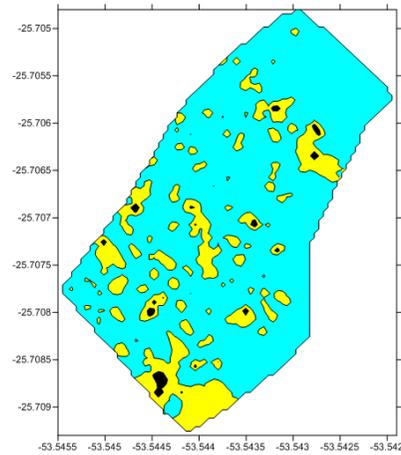


Figura 32 Área B-2012 - Folha estreita grade de 10 m.

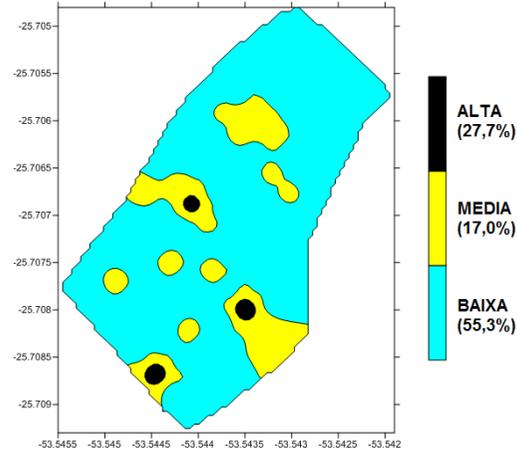


Figura 33 Área B-2012 - Folha estreita grade de 30 m.

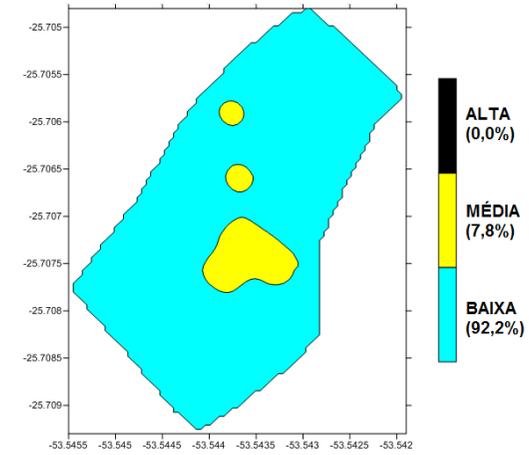


Figura 34 Área B-2012 - Folha estreita grade de 50 m.

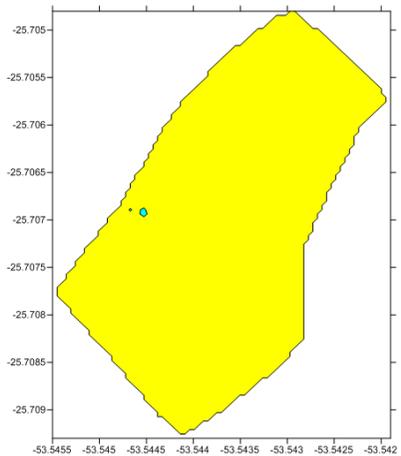


Figura 35 Área B-2013 - Folha estreita grade de 10 m.

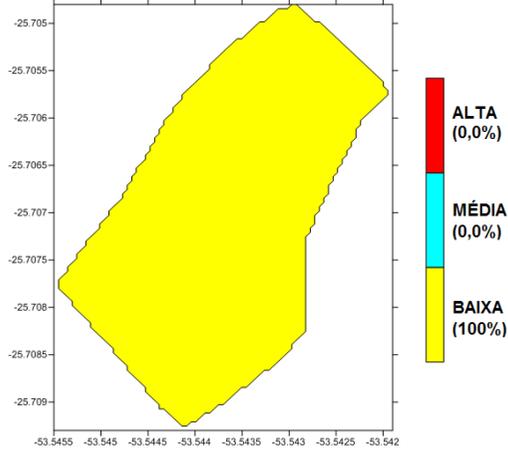


Figura 36 Área B-2013 - Folha estreita grade de 30 m.

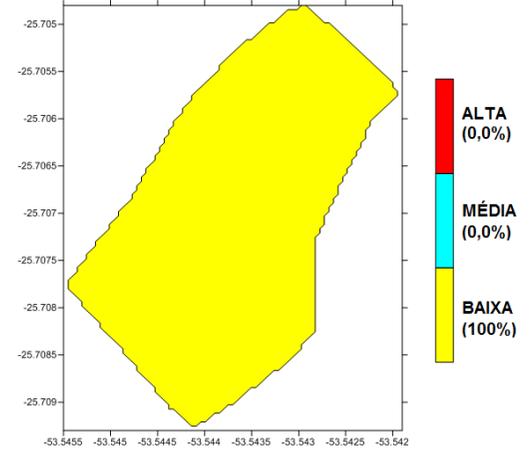


Figura 37 Área B-2013 - Folha estreita grade de 50 m.

5.5.3 Área amostral C

Os mapas representando os níveis de infestação dos anos de 2012 e 2013 na área C, para plantas de folha larga (FL) e plantas folha estreita (FE), para as grades de 10, 30 e 50 metros, são apresentados nas Figuras 38 a 49.

No ano de 2013, são observadas maiores áreas de baixa infestação em relação a 2012, para folhas largas, o aumento foi de 54,3%, comparando-se os mapas C-2012-10-FL e C-2013-10-FL (Figuras 38 e 41) e para folhas estreitas houve aumento de 39,95%, comparando-se os mapas C-2012-10-FE e C-2013-10-FE (Figuras 44 e 47).

A Figura 38 é a representação do mapa C-2012-10-FL, no qual se observa cobertura de baixa infestação em 33,2%, média infestação em 35,7% e alta infestação em 31,1%, em relação à área total, sendo parcialmente semelhante ao mapa C-2012-30-FL (Figura 39). Já no mapa C-2012-50-FL (Figura 40), observam-se níveis de infestação baixa de 33,3%, média 30,8% e alta de 35,9%, sendo os níveis de infestação em proporções semelhantes aos observados no mapa gerado com grade de 10 x 10 m, o que não significa que os níveis de infestação estejam sendo representados nos mesmo locais, uma vez que o valor kappa foi de 0,28 (concordância parcial), para este mapa, quando comparado com a referência.

No mapa C-2012-10-FE, observa-se cobertura de baixa infestação em 60,0%, média infestação em 31,5% e alta infestação em 8,5% em relação à área total. Já no mapa B-2012-30-FE, observa-se cobertura de plantas espontâneas com baixa infestação em 57,6%, média infestação em 40,6% e alta infestação em 1,8%, assim, comparando-se visualmente os mapas B-2012-10-FE e B-2012-30-FE, observa-se uma semelhança, onde a comparação das grades apresenta valor Kappa (Tabela 6) de 0,22, classificados como concordância parcial. Para a comparação C-2012-10-FE x C-2012-50-FE (Figuras 44 e 46) não é observada uma semelhança entre os mapas, o que é confirmado pelo índice kappa de 0,07 (concordância baixa).

A comparação dos mapas C-2013-10-FE, com C-2013-30-FE e C-2013-50-FE (Figuras 47, 48 e 49), apresenta alta semelhança visual, além da proximidade dos valores referentes às proporções de infestação de plantas espontâneas, predominando zonas de baixa infestação, sendo o valor Kappa de 0,95 0,88 respectivamente para as comparações, ambas com concordância perfeita e perdas de 5,0 e 12% na qualidade dos mapas gerados com grades de 30 e 50 m, quando comparados com a grade de referência (10 x 10 m).

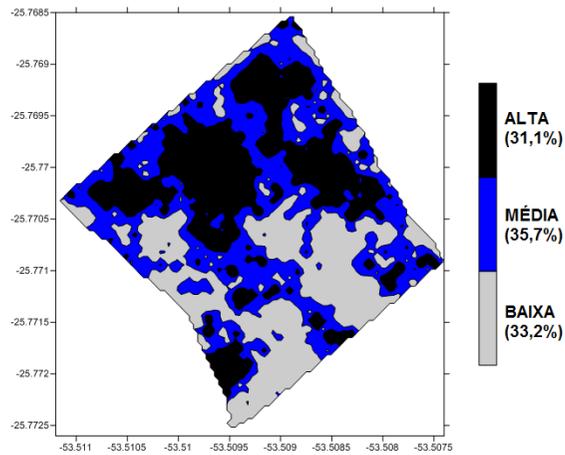


Figura 38 Área C-2012 - Folha larga grade de 10 m.

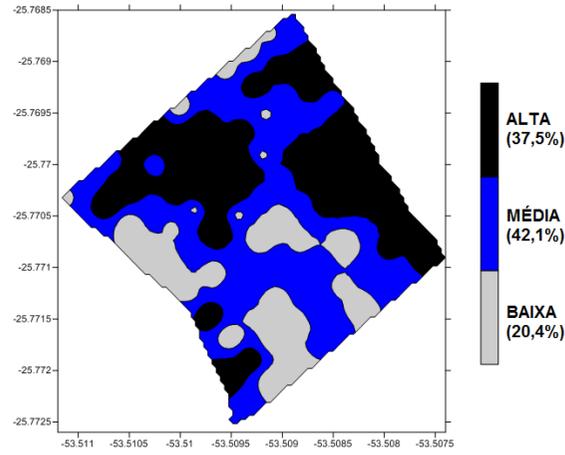


Figura 39 Área C-2012 - Folha larga grade de 30 m.

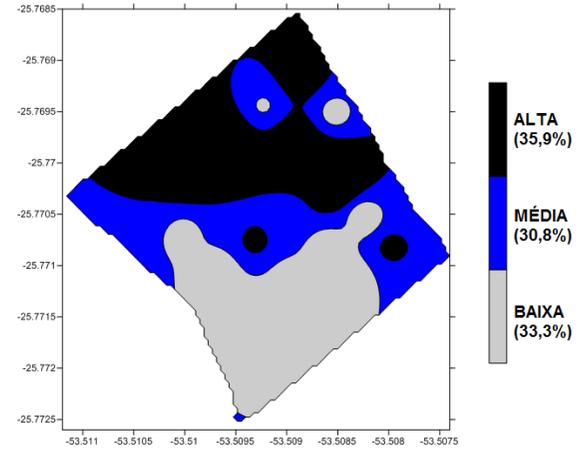


Figura 40 Área C-2012 - Folha larga grade de 50 m.

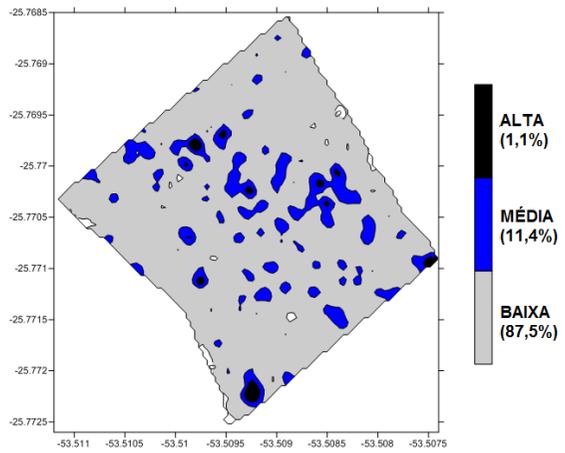


Figura 41 Área C-2013 - Folha larga grade de 10 m.

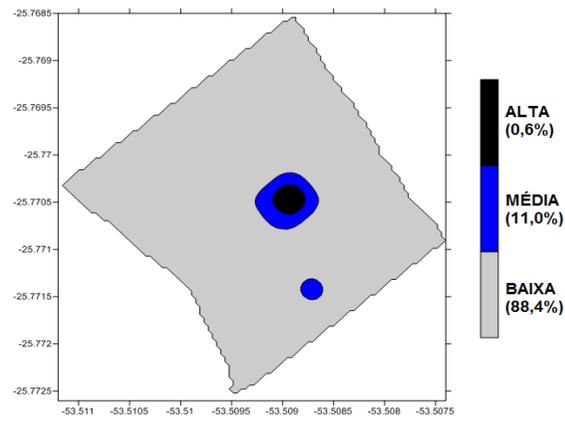


Figura 42 Área C-2013 - Folha larga grade de 30 m.

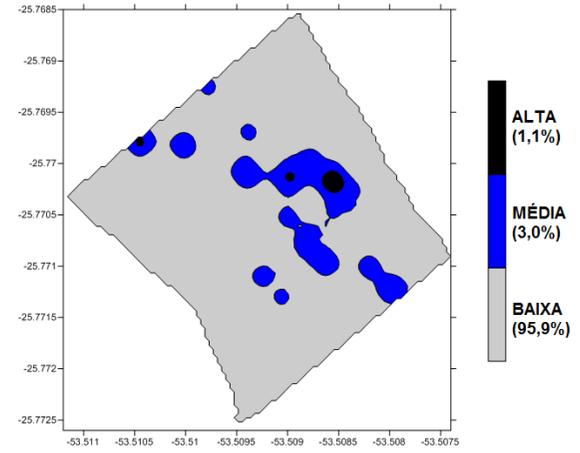


Figura 43 Área C-2013 - Folha larga grade de 50 m.

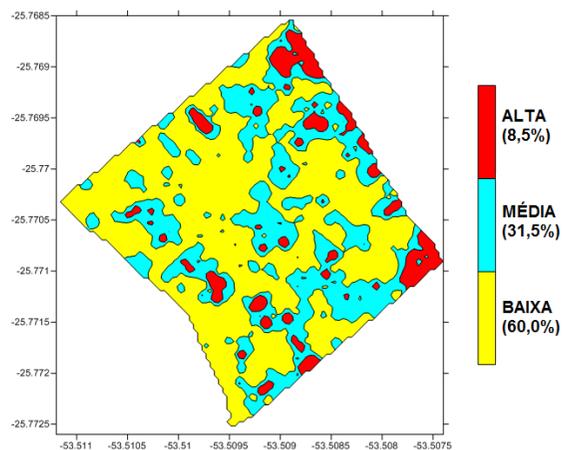


Figura 44 Área C-2012 - Folha estreita grade de 10 m.

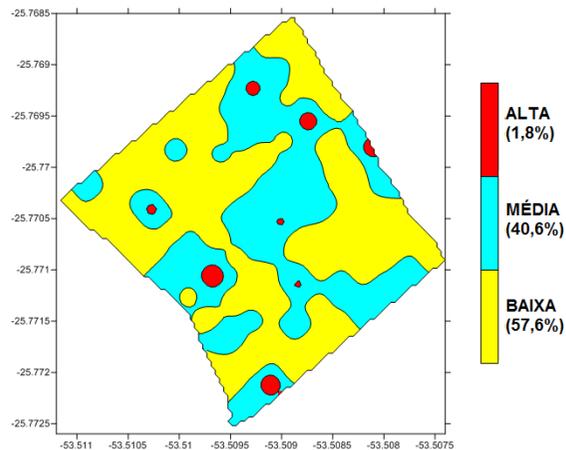


Figura 45 Área C-2012 - Folha estreita grade de 30 m.

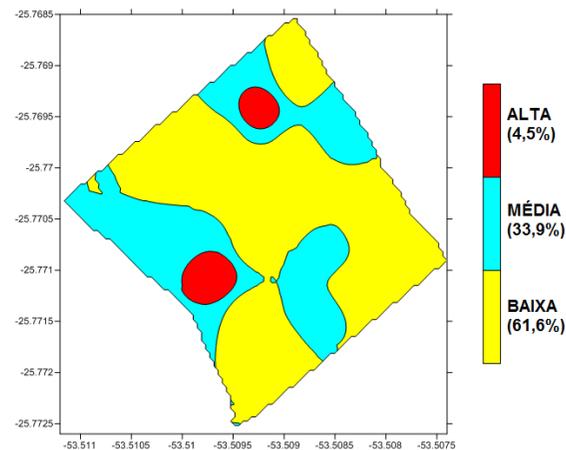


Figura 46 Área C-2012 - Folha estreita grade de 50 m.

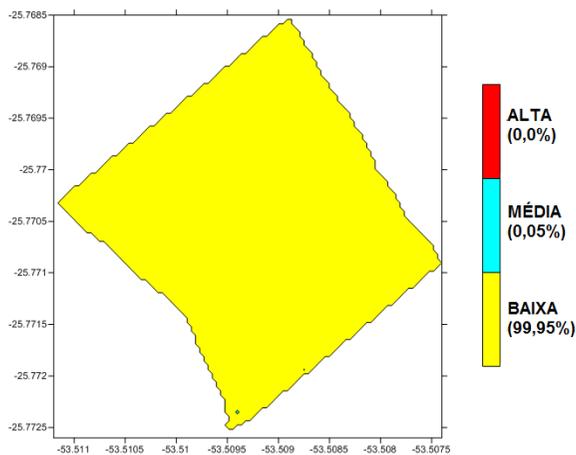


Figura 47 Área C-2013 - Folha estreita grade de 10 m.

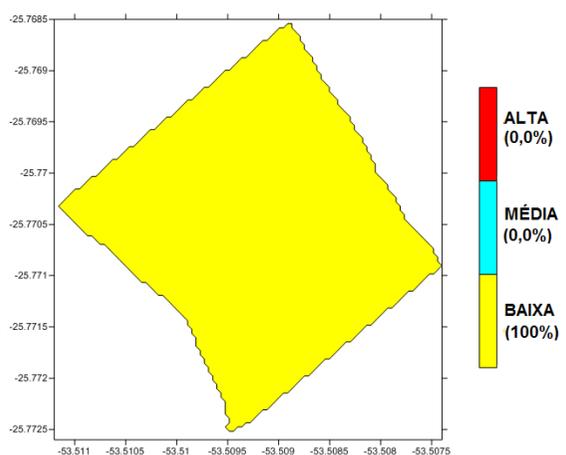


Figura 48 Área C-2013 - Folha estreita grade de 30 m.

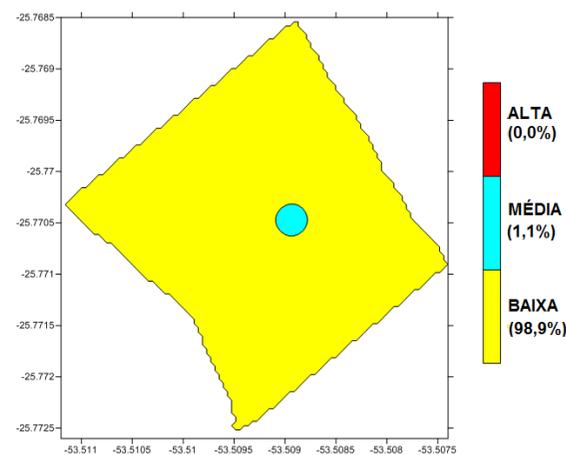


Figura 49 Área C-2013 - Folha estreita grade de 50 m.

Chiba, Guedes Filho e Vieira (2010) representaram uma área de 3,42 hectares e apresentava 302 pontos amostrais distribuídos em grade regular de 10 x 10 m. Shiratsuchi (2001), no mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas com a utilização de ferramentas da agricultura de precisão utilizou células de 10 x 10 m, dividido em três classes de infestação, concluíram que técnicas de mapeamento da variabilidade espacial das plantas espontâneas são importantes ferramentas para que melhores decisões sejam tomadas dentro dos sistemas de produção agrícola.

5.6 Índice Kappa

Na Tabela 6 estão representados os valores do Índice Kappa e exatidão global para a classificação, conforme Landis e Koch (1977), para as comparações dos mapas gerados com diferentes grades (10, 30 e 50 m) para sua respectiva área (A, B ou C). Observou-se que o menor índice kappa foi de 0,07, no ano de 2012, comparando-se as grades de 10 e 50 m, para as plantas do tipo folha larga na área B e na área C para folhas estreitas, com exatidão global de 43%. O maior valor foi 0,99 no ano de 2013, para folhas estreitas, comparando-se as grades de 10 e 30 m e as grades de 10 e 50 m, e exatidão global de 99,9%. É importante lembrar que não foram realizadas comparações para kappa e exatidão global entre áreas (A, B e C), nem entre fatores (folhas largas x folhas estreitas).

Em todas as comparações da área A o kappa variou de 0,30 a 0,95 e a exatidão global variou de 55,7 a 99,6%. Nas comparações dos mapas de folha estreita, o kappa variou de 0,55 a 0,95, mostrando uma concordância entre os mapas que foi de moderada à perfeita. Para as comparações de folhas largas, o kappa variou de 0,30 a 0,52, mostrando uma concordância entre os mapas classificada de parcial à moderada, assim, os mapas gerados com grades de 50 x 50 m mostraram-se adequados para a descrição do processo de plantas folhas estreitas. A grade de 30 x 30 m foi a mais adequada para a análise dos dados de folhas largas, de acordo com a classificação kappa, quando comparados com os mapas gerados nas grades de 10 x 10 m, resultados semelhantes aos citados por Normeyer *et al.* (1997).

Para a área B, nos dois anos, verificou-se um kappa variando de 0,07 a 0,99 e uma exatidão global de 43,0% a 99,9%. Para a comparação B-2012-FL-10 x B-2012-FL-30 e B-2012-FL-10 x B-2012-FL-50 (Figuras 26, 27 e 28), referente ao ano de 2012, ambos apresentaram baixa concordância kappa dos mapas de 30 x 30 m e 50 x 50 m, quando comparados com a grade 10 x 10 m, assim, com a redução da densidade amostral para

geração dos mapas de 30 x 30 m e 50 x 50 m houve uma grande perda na qualidade destes mapas. Em 2013, a comparação B-2013-FL-10 x B-2013-FL-30 (Figuras 29 e 30) para plantas de folhas largas, apresentou kappa de 0,5, ou seja, concordância moderada, assim a grade de 30 x 30 m descreveu de forma satisfatória e semelhante os dados, quando comparados com a grade de 10 x 10 m.

Tabela 6 Índice Kappa e Exatidão global das comparações das diferentes grades das áreas A, B, C

Área	Comparações	Índice Kappa	Exatidão Global (%)	Concordância Kappa
A	A-2012-FE-10 x A-2012-FE-30	0,63	78,6	Ótima
	A-2012-FE-10 x A-2012-FE-50	0,55	73,7	Moderada
	A-2012-FL-10 x A-2012-FL-30	0,32	60,1	Parcial
	A-2012-FL-10 x A-2012-FL-50	0,30	55,7	Parcial
	A-2013-FE-10 x A-2013-FE-30	0,88	98,9	Perfeita
	A-2013-FE-10 x A-2013-FE-50	0,95	99,6	Perfeita
	A-2013-FL-10 x A-2013-FL-30	0,52	90,0	Moderada
	A-2013-FL-10 x A-2013-FL-50	0,32	82,8	Parcial
B	B-2012-FE-10 x B-2012-FE-30	0,26	72,9	Parcial
	B-2012-FE-10 x B-2012-FE-50	0,18	75,2	Baixa
	B-2012-FL-10 x B-2012-FL-30	0,08	43,5	Baixa
	B-2012-FL-10 x B-2012-FL-50	0,07	43,0	Baixa
	B-2013-FE-10 x B-2013-FE-30	0,99	99,9	Perfeita
	B-2013-FE-10 x B-2013-FE-50	0,99	99,9	Perfeita
	B-2013-FL-10 x B-2013-FL-30	0,50	90,0	Moderada
	B-2013-FL-10 x B-2013-FL-50	0,29	82,6	Parcial
C	C-2012-FE-10 x C-2012-FE-30	0,22	59,1	Parcial
	C-2012-FE-10 x C-2012-FE-50	0,07	48,1	Baixa
	C-2012-FL-10 x C-2012-FL-30	0,34	56,3	Parcial
	C-2012-FL-10 x C-2012-FL-50	0,28	51,7	Parcial
	C-2013-FE-10 x C-2013-FE-30	0,95	99,9	Perfeita
	C-2013-FE-10 x C-2013-FE-50	0,88	98,9	Perfeita
	C-2013-FL-10 x C-2013-FL-30	0,39	83,1	Parcial
	C-2013-FL-10 x C-2013-FL-50	0,32	84,6	Parcial

Na área C, para os dois anos de estudo, o índice kappa variou de 0,07 a 0,95 e a exatidão global de 48,1 a 99,9%. Para todas as comparações realizadas entre as grades de folhas largas, para os dois anos, obteve-se concordância parcial. As comparações dos mapas de plantas de folha estreita, no ano de 2013, ambas foram classificadas como perfeita concordância kappa dos mapas de 30 x 30 m e 50 x 50 m, quando comparados com o mapa referência (grade 10 x 10 m). Estes resultados confirmam os estudos de Normeyer *et al.* (1997), que mapearam plantas daninhas pelos métodos de amostragem em 13 ha, utilizando grade de 30 x 30 m, a qual foi considerada adequada para a análise dos dados.

5.7 Análise geral

Foi observada, em todas as áreas estudadas, nos anos de 2012 e 2013, uma redução na quantidade de detalhes nos mapas gerados com diferentes grades, proporcional ao aumento do tamanho da grade amostral, devido à menor densidade de amostras. Também pelo fato das plantas espontâneas se distribuírem de forma agregada, permitindo o seu mapeamento. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Chiba, Guedes Filho e Vieira (2010) e Shiratsuchi (2001), no mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas com a utilização de ferramentas da agricultura de precisão, utilizando células de 10 x 10 m, dividido em três classes de infestação e concluíram que houve estrutura de dependência espacial definida, tanto para as plantas separadas em função do tipo de folha como para o número total delas. Os mapas obtidos nesta pesquisa evidenciaram o padrão agregado da distribuição espacial das plantas espontâneas. Foi possível delimitar zonas de manejo com diferenças de infestação da ordem de cinco a dez vezes no número total de plantas espontâneas, confirmando a hipótese de que a análise geoestatística pode ser utilizada como ferramenta auxiliar no manejo de forma satisfatória.

Nas três áreas experimentais, no ano de 2013, verifica-se um aumento nas áreas de baixa infestação em relação a 2012, para os dois fatores estudados (folhas largas e folhas estreitas), o que ocorre devido ao uso de herbicidas mais eficientes no controle de plantas de espontâneas, como glifosato para folhas estreitas e 2,4-D e metsulfuron-metil para folhas largas (VARGAS; ROMAN, 2005, ROMAN, 2006, AGOSTINETTO *et al.*, 2008, PATEL *et al.*, 2010, MACIEL, 2011) e também pelo menor índice pluviométrico no ano de 2013, no período das amostragens (Figura 13). Assim, estes fatores em conjunto, possivelmente, proporcionaram uma redução dos níveis médios de infestação, ao longo dos dois anos do estudo na área A.

Observando-se os mapas das áreas A e B, proporcionalmente, no que se refere aos percentuais de infestação, observa-se uma semelhança no padrão de distribuição para folhas largas e folhas estreitas. A mesma semelhança é observada entre os mapas de folhas estreitas das áreas A, B e C para o ano de 2013, o que provavelmente ocorre devido às infestações menores terem sido registradas neste ano.

Os resultados, segundo Coelho *et al* (2009), Dille *et al.* (2003), Roberts, Sheley e Lawrence (2004), Backes e Plumer (2004) e Sezia (2008), confirmam o estudo deste trabalho, em que o IQD tem sido satisfatório na interpolação para plantas espontâneas, mas isso pode ser mais difícil em locais onde os níveis de infestação são baixos, o que levaria a uma subestimação, uma vez que se possui um conjunto de dados com baixa amplitude. Assim, com a redução da densidade amostral, o interpolador poderia gerar mapas

subestimando valores e negligenciando zonas ou reboleiras de média e alta infestação, levando a falhas de controle a campo e acarretaria prejuízos no manejo de invasoras.

Os resultados deste estudo indicam que é possível a utilização de grades maiores para descrição de plantas folhas largas e folhas estreitas. De acordo com Balastreire e Baio (2001), a aplicação localizada, em função do mapeamento da distribuição espacial das plantas daninhas, pode resultar numa economia de até 32%, relacionada com a aquisição de herbicidas.

A perda de qualidade dos mapas para folhas estreitas e folhas largas, para os dois anos na área A, variou de 5,0 a 70,0%. Na área B, observam-se perdas que variaram de 1,0 a 93,0%. Para a área C, as perdas foram de 5,0% a 93,0%, sendo as menores perdas observadas para as folhas estreitas.

Para folhas largas, no ano de 2012, a grade de 30 m descreveu de forma parcial os dados das áreas A e C. No ano de 2013, os mapas das áreas A e B apresentaram concordância moderada nas grades de 30 e 50 m. Entretanto, a grade de 30 m mostrou-se satisfatória, causando poucos prejuízos às informações, porém a grade de 50 m apresenta limitações, podendo distorcer os dados.

No ano de 2012, a área A, para folhas estreitas, apresentou concordância ótima para a grade de 30 m e moderada para a grade de 50 m. As demais áreas apresentaram parcial ou baixa concordância, neste ano. Em 2013, os mapas gerados com grades de 30 e 50 m, para folhas estreitas, nas áreas A, B C, foram classificados com concordância perfeita, de acordo com o índice kappa. Assim, neste trabalho, as grades de 30 e 50 m podem ser utilizadas para o mapeamento de plantas espontâneas.

6 CONCLUSÃO

Consideradas as condições em que os experimentos foram realizados, os resultados obtidos permitem concluir que:

- As plantas espontâneas, tanto as de folhas largas quanto as de folhas estreitas, apresentaram estrutura de distribuição espacial definida, devido a sua ocorrência de forma agregada permitindo o uso da análise espacial;

- As plantas do tipo folha larga apresentaram correlação espacial com os atributos do solo, carbono, manganês, zinco, ferro e potássio e as de folha estreita apresentaram correlação espacial com o alumínio, argila, cálcio, carbono, cobre, ferro, manganês e PH;

- É possível a redução da grade amostral para levantamento dos dados referentes a plantas espontâneas, sem prejuízo à qualidade das informações, com valores de índice kappa de até 0,99;

- A grade que melhor descreveu os mapas gerados para folha larga foi a de 30 m e para folha estreita a grade de 50 m descreveu de forma satisfatória as informações. Sendo que apenas a área B apresentou variações, possivelmente em função do relevo da área estudada.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido a possíveis variações dos dados encontrados nos estudos de plantas espontâneas, sugere-se que para cada área estudada seja realizada uma amostragem em uma área representativa do terreno, para verificação do comportamento dos dados de infestações referentes à distribuição destas plantas e para determinação da grade técnica e economicamente mais viáveis de serem aplicadas em cada situação.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D.; FLECK, N. G.; RIZZARDI, M. A.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Dano econômico como critério na decisão sobre manejo de genótipos de arroz concorrentes em arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 1, p. 1-9, 2005.
- AGOSTINETTO, D.; RIGOLI, R. P.; SCHAEGLER, C. E.; TIRONI, S. P.; SANTOS, L. S. Período crítico de competição de plantas daninhas com a cultura do trigo. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 271- 278, 2008.
- AMADO, T. J. C.; GIOTTO, E. A sua lavoura na tela. **Revista a Granja**, São Paulo, SP, p. 38-42, 2009.
- ANTUNIASSI, U. R. Agricultura de precisão: precisão na aplicação para controle de plantas daninhas. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE PLANTAS DANINHAS, 3, 2002, Passo Fundo. **Resumos...** Passo Fundo, 2002. p. 53.
- BALASTREIRE, L. A. **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: L. A. Balastreire (Ed.), 2000. 224 p.
- BALASTREIRE, L. A.; BAILO, F. H. R. Avaliação de uma metodologia prática para o mapeamento de plantas daninhas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 349-352, 2001.
- BARBOUR, L. G. *et al.* **Terrestrial plant ecology**. Menlo park: The Benjamim/Cummings, 1987. 634 p.
- BAZZI, C. L. **Software para definição e avaliação de unidades de manejo em agricultura de precisão**. 2011. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2011.
- BAZZI, C. L. ; SOUZA, E. G. ; OPAZZO, M. O. ; NOBREGA, L. H. ; ROCHA, D. M. . Management zones definition using soil chemical and physical attributes in a soybean area. **Engenharia Agrícola**, v. 33, p. 1-14, 2013.
- BLACKMORE, S. Precision farming: An overview. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, p. 86-88, 1994.
- BROWER, J. C.; MERRIAM, D. F. Thematic map analysis using multiple regression. **Mathematical Geology**, Sweden, v. 33, n. 3, p. 353-368, 2001.
- CARDINA, J.; SPARROW, D. H.; McCOY, E. L. Spatial relationships between seedbank and seedling populations of common lambsquarters (*Chenopodium album*) and annual grasses. **Weed Science**, Ithaca, v. 44, n. 3, p. 298-308, 1996.
- CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R.; MORAN, R. C. C. P. Análise de correspondência – uma ferramenta útil na comparação de mapas de produtividade. Empresa Brasileira de Pesquisa e agropecuária, **Comunicado técnico**, Campinas, v. 14, p. 214-221, 2001.
- CARVER, A. J. **Fotografias aéreas para planejadores de uso da terra**. Trad. Ruth Ferraz Amaral. Brasília: MA/SNAP/SRN/CCSA, 1988. 77 p.

CHIBA, M. K.; GUEDES FILHO, O.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial e temporal de plantas daninhas em Latossolo Vermelho argiloso sob semeadura direta. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá - PR, v. 32, n. 4, p. 735-742, 2010.

CHRISTENSEN, S.; HEISEL, T.; BENLLOCH, J. V. Patch spraying and rational weed mapping in cereals. *In*: THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Minneapolis, 1999. **Proceedings...** Wisconsin: ASA, CSSA, SSSA, 1999. p. 773-785.

CLAY, S. A.; LEMS, G. J.; CLAY, D. E.; ELLSBURRY, M. M.; CARLSON, C. G. Sampling weed spatial variability on a fieldwide scale. **Weed Science**, Ithaca, v. 47, n. 5, p. 674-681, 1999.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2005. 60 p.

COELHO, E. C.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; PINHEIRO NETO, R. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 165-174, 2009.

COELHO, E.C.; SOUZA,E.G.; OPAZO, M.A.U.; PINHEIRO NETO, R. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temático. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá - PR, v. 31, n. 1, p. 165-174, 2009.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. A practical look at sources of confusion in error matrix generation. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Maryland, v. 59, n. 5, p. 641-644, 1993.

DAINESE, R. C.; PUGLIESE, P. B.; JORGE, L. A. C.; TRINDADE JR, O.; CEREDA JR., A. Avaliação da incidência de plantas invasoras por meio de segmentação de imagens e redes neurais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba/SP: ESALQ/USP, 2004 p. CD-ROM.

DALPOSSO, G. H.; URIBE-OPAZO, M. A.; MERCANTE, E.; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Comparison measures of maps generated by geostatistical. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 174-183, jan./fev. 2012.

DAMPNEY, P. M. R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: Current practice and research-based advice to farmers. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. p. 661-673. Part A.

DILLE, J. A.; MILNER, M.; GROETEKE, J. J.; MORTENSEN, D. A., WILLIAMS II, M. M. How good is your map? A comparison of spatial interpolators. **Weed Science Society of America**, v. 51, p. 45-55, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2001. **Agricultura de precisão e amostragem de solo**. Disponível em: <www.portaldoagronegocio.com.br>. Acesso em: 10 abr. 2013a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Plantas daninhas causam danos evitáveis**. Agosto 2009. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2009/agosto/3a-semana/plantas-daninhas-causam-danos-evitaveis>>. Acesso em: 10 mar. 2013b.

MILANI, L.; SOUZA, E. G.; OPAZO-URIBE, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá-PR, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

FLECK, N. G.; RIZZARDI, M. A.; AGOSTINETTO, D. Nível de dano econômico como critério para tomada de decisão no controle de guaxuma em soja. *Planta daninha. Online*. v. 20, n. 3, p. 421-429. 2002. ISSN 0100-8358.

GARIBAY, S. V.; RICHNER, W.; STAMP, P.; NAKAMOTO, T.; YAMAGISHI, J.; ABIVARDI, C.; EDWARDS, P. J. Extent and implications of weed spatial variability in arable crop fields. *Plant Production Science*, Tokyo-Japão, v. 4, n. 4, p. 259-269, 2001.

GASTON, L. A.; LOCKE, M. A.; ZABLOTOWICS, R. M.; REDDY, K. N. Spatial variability of soil properties and weed populations in the Mississippi delta. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 65, n. 2, p. 449-459, 2001.

GERHARDS, R. *et al.* Spatial Stability of weed patches in agricultural fields. In: THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3, Minneapolis, 1999. *Proceedings...* Wisconsin: ASA, CSSA, SSSA, 1996. p. 495-504.

GERHARDS, R.; WYSE-PESTER, D. Y.; JOHNSON, G. A. Characterizing spatial stability of weed populations using interpolated maps. *Weed Science*, Maringá – PR, v. 45, n. 1, p. 108-119, 1997.

Goel, P. K., Prasher, S. O., Landry, J. A., Patel, R. M., Bonnell, R. B., Viau, A. A., and Miller, J. R. 2003. Potential of airborne hyper spectral remote sensing to detect nitrogen deficiency and weed infestation in corn. *Computers and Electronics in Agriculture*, Montréal (Quebec) Canadá, v. 38, n. 2, p. 99-124, 2003.

GOOGLE EARTH API (2008), Google Earth COM API Class List. Disponível em: <http://earth.google.com/comapi/annotated.html>. Acesso em 26 de abril de 2011.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 305 p.

GOTWAY, C. A.; FERGUSON, R. B.; HERGERT, G. W.; PERERSON, T. A. Comparison of Kriging and Inverse-Distance Methods for Mapping Soil Parameters. *Nutrient Management and Soil and Plant Analysis*, Temuco, v. 60, p. 1237-1247, 1996.

SILVA, S. A. *et al.* AVALIAÇÃO DE INTERPOLADORES ESTATÍSTICOS E DETERMINÍSTICOS NA ESTIMATIVA DE ATRIBUTOS DO SOLO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO. *Idesia*, Arica, v. 26, n. 2, Aug. 2008.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa - MG, v. 29, p. 169-177, 2005.

HAMOUZ, P.; NOVÁKOVÁ, K.; SOUKUP, J.; TYSER, L. Evaluation of sampling and interpolation methods used for weed mapping. *Journal of Plant Diseases and Protection*, Stuttgart, p. 205-215, 2006.

HEISEL, T.; CRISTENSEN, S.; WALTER, A. M. Weed managing model for patch spraying in cereal. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, *Proceedings...* Wisconsin: ASA: CSSA: SSSA, 1996. p. 999-1007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Base Pública de Dados. **Caderno estatístico do município de Realeza**, 2012, p 01-30. Disponível em : < http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/cadernos_municipios/realeza2012.pdf >, acesso 6 de abril de 2013.

ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: **Oxford University Press**, p.561, 1989.

JONES, N. L.; DAVIS, R. J.; SABBAH, W. A comparison of three-dimensional interpolation techniques for plume characterization. **Ground Water**, v. 41, n. 4, p. 411-419, 2003. Disponível em : <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-6584.2003.tb02375.x/citedby>. Acesso em 6 de abril de 2013.

KVIEN, C. K.; BOYDELL, C. D.; POCKNEES. Precision management of spatially variable weeds. *In*: THE EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Proceedings...** Oxford:: BIOS Scientific, 1997. p. 983-989.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LOPES, L. H. A.; LOPES E. A. **Mapas temáticos**. Expressão gráfica para análise de resultados de pesquisas envolvendo espaço e tempo. Graphica: Curitiba, PR, 2007. *In*: http://www.degraf.ufpr.br/artigos_graphica/MAPAS.pdf. Acesso em: 6 abr. 2013.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Análise de regressão múltipla espacial. Texto Didático 13. Rio Claro: UNESP/campus de Rio Claro. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Departamento de Geologia Aplicada. Laboratório de Geomatemática, 2004. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/Texto13.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2013.

LOUSADA, L. L.; FREITAS, S. P.; MARCIOANO, C. R.; ESTEVES, B. S.; MUNIZ, R. A.; SIQUEIRA, D. P. Correlation of soil properties with weed occurrence in sugarcane areas. **Planta daninha**, Viçosa- MG, v. 31, n. 4, p. 765-775, 2013.

LUTMAN, P. J. W.; PERRY, N. H. Methods of weed patch detection in cereal crops. *In*: THE BRIGHTON CONFERENCE - WEEDS, Brighton, 1999. **Anais...** Brighton: [s.n.], 1999. p. 627-634.

MACIEL, C. D. G. *et al.* Eficiência e qualidade da aplicação de glyphosate + carfentrazone no controle de *Commelina diffusa* em função da ponta de pulverização e ação do adjuvante triunfo Flex®. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 3, 2011, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 2011. p. 388-391.

MANTOVANI, E. C.; COELHO, A. M.; MATOSO, M. J. Agricultura de precisão. **Revista Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, p. E12-13, abr. 2005.

MARTINELLI, M. **Cartografia temática**: caderno de mapas. São Paulo – SP: Editora da Universidade de São Paulo, 2003, 171 p.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Paris, v. 58, p. 1246-1266, 1963.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Fointanebleu: Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fiontanebleu, 1971. p. 211.

MILANI, L.; SOUZA, E. G.; OPAZO-URIBE, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá - PR, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

MOLIN, J.P. **Agricultura de Precisão**: situação atual e perspectivas. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. (Org.). Milho: Estratégias de Manejo para Alta Produtividade. Piracicaba, 2003, p. 89-98.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão**. O gerenciamento da variabilidade. Piracicaba: Tipografia Piracicabana, 2001. 83 p.

MOLIN, J. P. Utilização de GPS em Agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal - PR, v. 17, n. 3, p. 121-132, 1998.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão. Parte I: O que é o estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticaba - SP, v. 17, n. 2, p. 109-121, 1997.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão: fundamentos e estado atual da arte. In: CÂMARA, G. M. **Soja**: Tecnologia da Produção II. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, 2000. p. 423-437.

MORAES, P. V. D.; AGOSTINETTO, D.; GALON, L.; PIESANTI, R. Agricultura de precisão no controle de plantas daninhas. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 15, n. 1, p. 1-14, 2008.

MULLA, D. J.; HAMMOND, M. Mapping of soil test results from large irrigation circles. In: FAR WEST REGIONAL FERTILIZER CONFERENCE, 1988, Bozeman. **Proceedings...** Pasco: Far West Fert. AgChem Assoc., 1988.

MULLA, D. J.; SCHEPERS, J. S. Key process and properties for site-specific soil and crop management. In: PIERCE, F. J.; SADLER, E. J. (Ed.) **The state of site-specific management for agriculture**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1997. p. 1-18.

NORDMEYER, H.; HÄUSLER, A.; NIEMANN, P. Patchy weed control as an approach in precision farming. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE 97, 1., Warwick, 1997. **Proceedings...** London: BIOS Scientific Publications, 1997, p. 307-314.

ORTIZ, B.V. et al. **Geostatistical modeling of the spatial variability and risk areas of Southern root-knot nematodes in relation in soil properties**. Geoderma. Author manuscript, p. 19, 2010.

PATEL, F.; TREZZI, M. M.; MIOTO JR., E.; DEBASTIANI, F. Nível de dano econômico de buva (*Conyza bonariensis*) na cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27, Ribeirão Preto, 2010. **Resumos...** Ribeirão Preto: FUNEP, 2010. p. 1670-1673.

PIERCE, F.J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. *Adv. Agronomy*, v. 67, p.1-85, 1999.

PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R.; PASINATO, A.; FRANÇA, S.; RAMBO, L. **Discutindo agricultura de precisão**: aspectos gerais. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 18 p.

PONZONI, F. J.; ALMEIDA, E. S. A estimativa do parâmetro kappa (K) da análise multivariada discreta no contexto de um SIG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, Salvador, 14-19 abril 1996. **Anais...** Salvador: INPE, 1996, p. 729-733.

QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. *In*: BORÉM, A.; GIUDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. (ed.). **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, 2000. p. 1-41.

RADOSEVICH, S. *et al.* **Weed ecology**: implications for management. 3. ed. New York: Wiley, 2007. 588 p.

RIBEIRO JUNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. Piracicaba, 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba, 1995.

ROBERTS, E. A.; SHELEY, R. L.; LAWRENCE, R. L. Using sampling and inverse distance weighted modeling for mapping invasive plants. **Western North American Naturalist**, Montana, v. 64, n. 3, p. 312-323, 2004.

RODRIGUES, J. B. T. **Variabilidade espacial e correlações entre atributos do solo e produtividade na agricultura de precisão**. 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu - SP, 2002.

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.

ROSA, R.; BRITO J. L. S. **Introdução ao geoprocessamento**: Sistema de informação geográfica. Uberlândia: Edufu, 2004. 104 p.

SADLER, E. J.; BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; KARLEN, D. L. Spatial scale requirement for precision farming: a case study in the southeastern USA. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 191-197, 1998.

SALVADOR, A. **Comparação de métodos de mapeamento da distribuição espacial da infestação de plantas daninhas**. 2002. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas- UNESP, Botucatu-SP, 2002.

SANTOS, D.; SOUZA, E. G.; NÓBREGA, L. H. P.; BAZZI, C. L.; GONÇALVES J. A. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 16, n. 8, p. 843-848, 2012.

SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C. A.; GONÇALVES, A. C. A.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S. Variabilidade espacial de plantas daninhas em dois sistemas de manejo de solos. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 11, n. 1, p. 53-60, 2007.

SCHIMALSKI, M. B.; LOCH, C.; SIEVERS, R. Metodologia para obtenção de mapa de produtividade para o milho. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO - COBRAC 2004, Florianópolis, 10 a 14 de Outubro 2004. **Anais...** Florianópolis: USFC, 2004. Disponível em: http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2004/116.pdf. Acesso em: 16 mar. 2013.

SCOTFORD, I. M.; MILLER, P. C. H. Applications of spectral techniques in northern European cereal production: a review. **Biosystems Engineering**, v. 90, n. 3, p. 235-250, 2005.

SHIRATSUCHI, L. S. **Mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas com a utilização de ferramentas da agricultura de precisão**. 2001. 96 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.

SHIRATSUCHI, L. S.; FONTES, J. R. A.; RESENDE, A. V. Correlação da distribuição espacial do banco de sementes de plantas daninhas com a fertilidade dos solos. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 429-436, 2005.

SHIRATSUCHI, L. S.; MOLIN, J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Mapeamento da distribuição espacial da infestação de *Panicum maximum* durante a colheita da cultura de milho. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 269-274, 2004.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. Seção IV - Fertilidade do solo e nutrição de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1013-1020, 2003.

SILVA, A. A. da.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, J. B. dos. Tópicos em manejo de plantas daninhas. In: SILVA, A. A. da.; SILVA, J. F. da. (eds.). **Biologia de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, 2007.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA - SINDAG. **Dados básicos**. São Paulo: SINDAG, 2012. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12409>>. Acesso em: 9 abr. 2013.

SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 589-596, 2008.

SPEZIA, G. R.; SOUZA, E. G.; NÓBREGA, L. H. P.; URIBE-OPAZO, M. A.; MILAN, M.; BAZZI, C. L. Model to estimate the sampling density for establishment of yield mapping. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 16, n. 4, p. 449–457, 2012.

STABILE, M. C. C. BALASTREIRE, L. A. Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 26, n. 1, p. 215- 223, 2006.

STAFFORD, J. V.; MILLER, P. C. H. Spatially variable treatment of weed patches. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings...** Wisconsin: ASA, CSSA, SSSA, 1996. p. 465-474.

STOPPELLI, I. M. B. S. **Agricultura, ambiente e saúde: uma abordagem sobre o risco do contato com os agrotóxicos a partir de um registro hospitalar de referência regional**. 2005. 155 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos – SP, 2005.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. Seletividade e eficiência de herbicidas em cereais de inverno. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Passo Fundo-RS, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2005.

VIDAL, R. A. *et al.* **Nível crítico de dano de infestantes em culturas anuais**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 133 p.

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

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.1-17, 1997.

VILELA, M. F. *et al.* Mapeamento da distribuição espacial de plantas daninhas no sistema milho-soja por meio de fotografias aéreas não convencionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 25, 2006, Brasília. **Anais...** Brasília – DF: Embrapa Cerrado, 2006. 1 CD-ROM.

VILELA, M. F.; FONTES, J. R. A.; SHIRATSUCHI, L. S. Mapeamento da distribuição espacial de plantas daninhas na cultura de soja por meio de sensoriamento remoto. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2005. 26 p.

VOLL, E.; ADEGAS, F. S. GAZZIERO, D. L. P.; BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. C. N. Amostragem do banco de semente e flora emergente de plantas daninhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.211-218, 2003.

WERNER, V. **Utilização de recursos de agricultura de precisão na geração de mapas de atributos, mapas de produtividade e aplicação de insumos a taxas variáveis**. 2004. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2004.

WILES, L.; BRODAHL, M. Exploratory data analyses to identify factors influencing spatial distributions of weeds seed banks. **Weed Science**, Fort Collins, v. 52, n. 6, p. 936-947, 2004.